



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

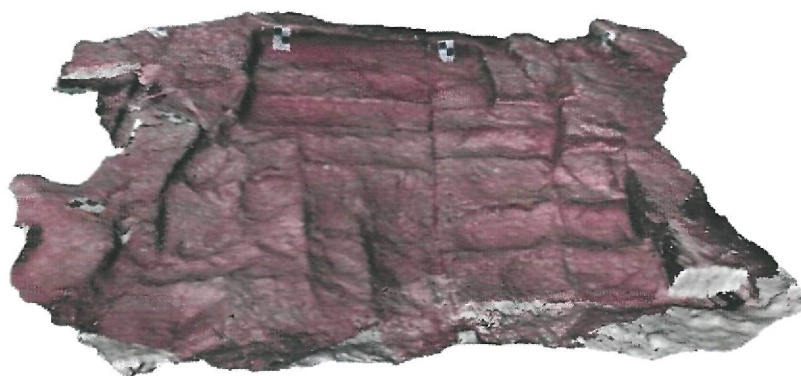


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y
CARTOGRAFÍA

TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

MODELIZACIÓN 3D LÁSER ESCÁNER DE UN YACIMIENTO CELTA EN ROCA FOSILIZADA DEL PERIODO TRIÁSICO



Madrid, Mayo 2015

Alumno:

Sofía-Doralice Casas Aranda

Sofía Casas

Tutor:

Mercedes Farjas Abadía

Mercedes Farjas Abadía

Cotutores:

Antonio Vázquez Hoehne

A. Vázquez Hoehne

Miguel Ángel Alonso Rodríguez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	OBJETIVO	15
1.2.	LOCALIZACIÓN	16
2.	CONTEXTO HISTÓRICO	19
2.1.	ZONA DE INTERÉS ARQUEOLÓGICO	21
2.2.	INTRODUCCIÓN A LAS ERAS GEOLÓGICAS	21
2.3.	FONDO MARINO FOSILIZADO	23
2.4.	HUELLAS EN LA ROCA	26
2.5.	FÓSILES ENCONTRADOS	30
2.6.	YACIMIENTO ANTROPOLÓGICO	32
3.	TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER	37
3.1.	INTRODUCCIÓN	39
3.2.	ANTECEDENTES	39
3.3.	FUNDAMENTOS DEL LÁSER ESCÁNER	40
3.3.1.	El espectro electromagnético y la luz	40
3.3.2.	Láseres	41
3.3.3.	Propiedades importantes de la luz láser	42
3.3.4.	Seguridad láser	43
3.4.	CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS ESCANER 3D	44
3.4.1.	Contacto	44
3.4.2.	Sistema de medida	46
3.4.3.	Sistema de barrido	58
3.4.4.	Posición	59
3.4.5.	Aspectos metrológicos: análisis de error	60
3.5.	EQUIPO LÁSER ESCÁNER	67
3.5.1.	Escaneado láser	67
3.5.2.	Equipamiento	68
3.5.3.	Especificaciones técnicas	69
3.5.4.	Accesorios	70
3.6.	APLICACIONES DEL ESCANEADO LÁSER	70
4.	EQUIPAMIENTO MATERIAL	81
4.1.	EQUIPO RIEGL LMS-Z420i	83
4.2.	EQUIPO COMPLEMENTARIO	85
4.3.	SOFTWARE	90



5.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	91
5.1.	PLANIFICACIÓN.....	93
5.2.	TRABAJO DE CAMPO	93
5.2.1	Trabajo previo en campo: diseño del proyecto	93
5.2.2.	Toma de datos.....	98
5.3.	TRABAJO DE GABINETE: Tratamiento de datos	106
5.3.1.	Red geodésica.....	106
5.3.2.	Red topográfica	112
5.3.3.	Preparación de datos con el programa Riscan Pro	113
5.3.4.	Procesado de datos con el programa Realworks	129
5.4.	ESTUDIO DE PRECISIONES	154
6.	VISUALIZACIÓN DE PRODUCTOS FINALES.....	157
6.1.	INTRODUCCIÓN	159
6.2.	ORTOPROYECCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL	160
6.3.	PLANO DEL YACIMIENTO CON CURVAS DE NIVEL.....	164
6.4.	MODELO TEXTURIZADO	167
6.5.	OBTENCIÓN DE MEDIDAS DE INTERÉS DEL YACIMIENTO	168
6.6.	OBTENCIÓN DE VOLÚMENES DEL YACIMIENTO	171
6.7.	SECCIONES DEL MODELO TRIDIMENSIONAL.....	179
6.8.	VÍDEO DEL MODELO TRIDIMENSIONAL	184
7.	PRESENTACIÓN DE PRODUCTOS	187
8.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	201
9.	CONCLUSIONES	209
10.	ANEXOS	213
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	299

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Costes de planificación</i>	<i>204</i>
<i>Tabla 2. Costes de trabajo de campo</i>	<i>205</i>
<i>Tabla 3. Costes de trabajo de gabinete</i>	<i>206</i>
<i>Tabla 4. Costes de resultados</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 5. Costes de redacción</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 6. Coste total de proyecto</i>	<i>207</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Situación de Anguita</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2. MTN25 de Anguita</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 3. Ortofoto de Anguita</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 4. Detalle del mapa geológico de Anguita</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 5. Eras geológicas de La Tierra</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 6. Representación del mar de Tethys</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 7. Morfología de fondo marino fosilizado</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 8. Morfología de fondo marino fosilizado (detalle)</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 9. Ripples: Huellas de oleaje fosilizado</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 10. Morfología de suelo marino fosilizado desgastado por erosión del agua</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 11. Morfología de suelo marino fosilizado desgastado por erosión del agua con ripples</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 12. Eoraptor lunensis</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 13. Giganotosaurus carolinii</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 14. Huella de dinosaurio</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 15. Huella de dinosaurio (remarcada)</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 16. Símbolo celta o medieval (remarcada)</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 17. Símbolo con inscripción en latín</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 18. Símbolo cristiano en nuestra parcela de trabajo</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 19. Crismón</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 20. Símbolos comparativos</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 21. Molde de algún tipo de objeto geométrico antiguo</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 22. Posible molde de tronco de árbol fosilizado</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 23. Manifestaciones de bioturbación</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 24. Marcas de cincel</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 25. Yacimiento</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 26. Cunas del yacimiento</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 27. Canalización y otras formas geométricas del yacimiento</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 28. Distribución de los hallazgos realizados en las proximidades del yacimiento</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 29. Distintos tipos de equipos escáner</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 30. El espectro electromagnético</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 31. Escáner de contacto</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 32. Escáner sin contacto</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 33. Clasificación de equipos láser escáner según su sistema de medida</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 34. Estereoscopio</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 35. Fundamentos matemáticos de la triangulación</i>	<i>48</i>



Ilustración 36. Esquema de un láser escáner	48
Ilustración 37. Tipos de marcas láser para reconocimiento de puntos homólogos	49
Ilustración 38. Proyección de un patrón de luz para escaneado 3D.....	50
Ilustración 39. Patrón Moiré con elementos lineales	50
Ilustración 40. Patrón Moiré con elementos puntuales	50
Ilustración 41. Esquema de un láser escáner de tiempo de vuelo.....	51
Ilustración 42. Métodos de desviación del haz en los escáneres de tiempo de vuelo.....	53
Ilustración 43. Esquema de un láser escáner de fase.....	54
Ilustración 44. Esquema de un interferómetro.....	56
Ilustración 45. Sistemas de barrido: cámara.....	58
Ilustración 46. Sistemas de barrido: panorámico.....	58
Ilustración 47. Sistemas de barrido: híbrido.....	59
Ilustración 48. Equipos estáticos	59
Ilustración 49. Equipos dinámicos sobre coche y sobre carro de medición de vías.....	60
Ilustración 50. Propagación del haz	61
Ilustración 51. Problema del haz láser sobre bordes.....	62
Ilustración 52. Ejes del láser escáner.....	64
Ilustración 53. Reflexión sobre una superficie lambertiana	64
Ilustración 54. Esquema de un equipo láser escáner	67
Ilustración 55. Aplicaciones del láser escáner terrestre	71
Ilustración 56. Equipo láser escáner en Topografía	71
Ilustración 57. Láser escáner en Geología y Minería.....	72
Ilustración 58. Equipo láser escáner en patrimonio cultural	73
Ilustración 59. Equipo láser escáner en obras civiles	73
Ilustración 60. Equipo láser escáner en industrias	74
Ilustración 61. Tecnología láser escáner en incendios forestales.....	74
Ilustración 62. Tecnología láser escáner en medición de volúmenes.....	75
Ilustración 63. Tecnología láser escáner en evaluación de daños causados por terremotos	76
Ilustración 64. Equipo láser escáner en análisis de hundimientos	76
Ilustración 65. Tecnología láser escáner aplicada a videojuegos.....	77
Ilustración 66. Tecnología láser escáner en catastro	77
Ilustración 67. Tecnología láser escáner en torres eléctricas.....	78
Ilustración 68. Tecnología láser escáner en ingeniería aeroespacial.....	78
Ilustración 69. Tecnología láser escáner en accidentes de tráfico	79
Ilustración 70. Láser escáner Riegl LMS-Z420i	83
Ilustración 71. Diana de puntería en papel tamaño 5x7 cm	85
Ilustración 72. Diana de puntería en papel tamaño DIN-A4	85
Ilustración 73. GPS Leica 1200	86
Ilustración 74. GPS Leica 500	87
Ilustración 75. TCR 405.....	88
Ilustración 76. TCR 705.....	89
Ilustración 77. Yacimiento sin limpiar visado desde el NW.....	94
Ilustración 78. Yacimiento sin limpiar visado desde el NE	94
Ilustración 79. Yacimiento visado desde el NW en el primer día de limpia.....	95
Ilustración 80. Yacimiento visado desde el NE en el primer día de limpia	95
Ilustración 81. Yacimiento visado desde el NW en el segundo día de limpia.....	96
Ilustración 82. Yacimiento visado desde el NE en el segundo día de limpia	96

<i>Ilustración 83. Diseño de la distribución de estacionamientos láser escáner</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 84. Diseño final de la distribución de estacionamientos láser escáner</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 85. Croquis de las sesiones de medición GPS.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 86. Sesiones de medición GPS</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 87. Distribución final de vértices GPS</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 88. Materialización de los vértices</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 89. Equipo GPS averiado.....</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 90. Toma de datos GPS.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 91. Parte del equipo necesario para la toma de datos.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 92. Traslado del equipo del coche al yacimiento.....</i>	<i>102</i>
<i>Ilustración 93. Distribución de dianas de puntería.....</i>	<i>102</i>
<i>Ilustración 94. Radiación de las dianas de puntería.....</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 95. Batería de uno de los vehículos que sirvió de sustitución.....</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 96. Ventana de ajuste de parámetros de medición láser escáner</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 97. Primera estación del equipo láser escáner Riegl.....</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 98 Segunda estación del equipo láser escáner Riegl.....</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 99. Tercera estación del equipo láser escáner Riegl.....</i>	<i>105</i>
<i>Ilustración 100. Observables de Molina de Aragón con la onda portadora L5.....</i>	<i>106</i>
<i>Ilustración 101. Rinex simple con filtro de observables cada 15 segundos.....</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 102. Observables de Ágreda cada 15 segundos.....</i>	<i>107</i>
<i>Ilustración 103. Preparación del proyecto LGO.....</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 104. Importación de datos crudos.....</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 105. Modificación de las antenas de las estaciones permanentes</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 106. Procesamiento de datos</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 107. Croquis general con la estación YEB1 desactivada</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 108. Croquis de detalle con la estación YEB1 desactivada.....</i>	<i>110</i>
<i>Ilustración 109. Informe de resultados de la red GPS</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 110. Coordenadas finales de la red GPS.....</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 111. Intento de descarga de datos de los equipos</i>	<i>112</i>
<i>Ilustración 112. Coordenadas ETRS89 de las dianas de puntería.....</i>	<i>112</i>
<i>Ilustración 113. Estructura Riscan Pro</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 114. Vista Panorámica con un barrido 360 °.....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 115. Vista de Detalle con un barrido 180 °.....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 116. ScanPos05 de detalle con 1.364.789 observaciones y un tamaño de 22.1MB</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 117. ScanPos06 de detalle con 1.143.040 observaciones y un tamaño de 12MB...</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 118. ScanPos07 de detalle con 470.496 observaciones y un tamaño de 4.9MB.....</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 119. Ventana Object Inspector: Cámara en modo Ortogonal.....</i>	<i>117</i>
<i>Ilustración 120. ScanPos05 limpio de ruido.....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 121. ScanPos06 limpio de ruido.....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 122. ScanPos07 limpio de ruido.....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 123. Comando para dejar fija una posición de escaneo en el proceso de registro .</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 124. Comando para dejar fija una SOP en el proceso de registro</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 125. Comando para llevar a cabo el registro de nubes de puntos</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 126. Ventana de registro: selección de nubes de puntos</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 127. Ventana de registro: selección de puntos homólogos.....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 128. Desviación estándar del registro</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 129. Nubes de puntos registradas.....</i>	<i>122</i>



<i>Ilustración 130. Nubes de puntos registradas con un color asignado a cada escaneo.....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 131. Crear un nuevo filtro.....</i>	<i>124</i>
<i>Ilustración 132. Crear un nuevo filtro: Octree.....</i>	<i>125</i>
<i>Ilustración 133. Crear un nuevo filtro de limpieza: Clean data</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 134. Nube de puntos sin filtrar</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 135. Nube de puntos con sus correspondientes filtros.....</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 136. Sistemas de coordenadas del software Riscan Pro</i>	<i>128</i>
<i>Ilustración 137. Exportar datos.....</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 138. Exportar datos con reducción de parámetro.....</i>	<i>129</i>
<i>Ilustración 139. Importación de la nube de puntos.....</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 140. Nube de puntos importada.....</i>	<i>131</i>
<i>Ilustración 141. Transformación de escala de intensidad de grises con Visual Studio</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 142. Importación de la nube de puntos transformada.....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 143. Nube de puntos importada y transformada.....</i>	<i>133</i>
<i>Ilustración 144. Herramienta analizador de objetos.....</i>	<i>134</i>
<i>Ilustración 145. Área de trabajo de materialización de elementos de puntería</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 146. Diana de puntería 209 materializada.....</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 147. Nube de puntos con la materialización de las dianas de puntería</i>	<i>136</i>
<i>Ilustración 148. Herramienta georreferenciamiento</i>	<i>137</i>
<i>Ilustración 149. Área de trabajo de la georreferenciación.....</i>	<i>137</i>
<i>Ilustración 150. Asignación de coordenadas ETRS89 a las dianas de puntería.....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 151. Error promedio en la fase de asignación de coordenadas</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 152. Comprobación de coordenadas.....</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 153. Nube de puntos con dianas de puntería georreferenciadas.....</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 154. Herramienta creación de mallas</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 155. Muestreo espacial de la nube.....</i>	<i>141</i>
<i>Ilustración 156. Vista previa de la malla</i>	<i>141</i>
<i>Ilustración 157. Mallado bruto de la nube de puntos</i>	<i>142</i>
<i>Ilustración 158. Herramienta Edición de mallas</i>	<i>143</i>
<i>Ilustración 159. Crestas de la malla</i>	<i>144</i>
<i>Ilustración 160. Suavizado de la malla.....</i>	<i>144</i>
<i>Ilustración 161. Inversión de triángulos.....</i>	<i>145</i>
<i>Ilustración 162. Cambio de color de la malla</i>	<i>145</i>
<i>Ilustración 163. Huecos en el modelo.....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 164. Herramienta Dibujo polilínea</i>	<i>147</i>
<i>Ilustración 165. Cosido de la malla</i>	<i>147</i>
<i>Ilustración 166. Resultado del tratamiento de huecos mediante el método “cosido de la malla”</i>	<i>148</i>
<i>Ilustración 167. Creación de nuevas mallas</i>	<i>148</i>
<i>Ilustración 168. Resultado del tratamiento de huecos mediante el método “creación de nuevas mallas”</i>	<i>148</i>
<i>Ilustración 169. Importación de imágenes en el programa Realworks.....</i>	<i>149</i>
<i>Ilustración 170. Herramienta Coincidencia de imágenes.....</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 171. Proceso de georreferenciación de imágenes.....</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 172. Aplicación de textura.....</i>	<i>151</i>
<i>Ilustración 173. Modelo con textura deformado por el ángulo de visión</i>	<i>152</i>

<i>Ilustración 174. Modelo con textura con el ángulo de visión del láser escáner en el momento de la toma de datos</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 175. Anverso de la modelización 3D láser escáner de un yacimiento fosilizado en roca del periodo triásico.....</i>	<i>153</i>
<i>Ilustración 176. Reverso de la modelización 3D láser escáner de un yacimiento fosilizado en roca del periodo triásico.....</i>	<i>153</i>
<i>Ilustración 177. Herramienta Ortoproyección.....</i>	<i>160</i>
<i>Ilustración 178. Creación de la Ortoproyección: plano de proyección</i>	<i>161</i>
<i>Ilustración 179. Creación de la Ortoproyección: parámetros del plano.....</i>	<i>161</i>
<i>Ilustración 180. Creación de la Ortoproyección: zona de interés</i>	<i>162</i>
<i>Ilustración 181. Creación de la Ortoproyección: resolución de la imagen</i>	<i>162</i>
<i>Ilustración 182. Creación de la Ortoproyección: imagen creada</i>	<i>163</i>
<i>Ilustración 183. Ortoproyección del modelo</i>	<i>163</i>
<i>Ilustración 184. Herramienta Curvas de nivel</i>	<i>164</i>
<i>Ilustración 185. Creación de curvas de nivel: rango de elevación.....</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 186. Creación de curvas de nivel: tolerancia</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 187. Creación de curvas de nivel: curvas maestras.....</i>	<i>165</i>
<i>Ilustración 188. Creación de curvas de nivel: mostrar curvas de nivel.....</i>	<i>166</i>
<i>Ilustración 189.Plano del modelo tridimensional del yacimiento</i>	<i>166</i>
<i>Ilustración 190. Modelo texturizado</i>	<i>167</i>
<i>Ilustración 191. Herramienta Medición</i>	<i>168</i>
<i>Ilustración 192. Medidas sobre la malla</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 193. Propiedades de la medición.....</i>	<i>169</i>
<i>Ilustración 194. Herramienta Cálculo de volumen</i>	<i>171</i>
<i>Ilustración 195. Cálculo de volumen: definir plano</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 196. Cálculo de volumen: resolución</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 197. Cálculo de volumen: vista previa.....</i>	<i>172</i>
<i>Ilustración 198. Cálculo de volumen: edición de volumen</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 199. Cálculo de volumen: desmonte.....</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 200. Cálculo de volumen: terraplén.....</i>	<i>173</i>
<i>Ilustración 201. Vista en planta del volumen total calculado</i>	<i>174</i>
<i>Ilustración 202. Vista de perfil del volumen total calculado</i>	<i>174</i>
<i>Ilustración 203. Recortes del mallado ajustando la zona de interés.....</i>	<i>175</i>
<i>Ilustración 204. Plano de corte y resolución.....</i>	<i>175</i>
<i>Ilustración 205. Cantidad de tierra movida.....</i>	<i>175</i>
<i>Ilustración 206. Vista en planta y de perfil del volumen calculado</i>	<i>176</i>
<i>Ilustración 207. Vista en planta y de perfil del volumen de tierra movida.....</i>	<i>177</i>
<i>Ilustración 208. Volumen del modelo.....</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 209. Volumen de tierra movido para la preparación del yacimiento.....</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 210. Herramienta plano de corte</i>	<i>179</i>
<i>Ilustración 211. Herramienta plano de corte: definir plano.....</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 212. Herramienta plano de corte: definir sección</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 213. Herramienta plano de corte: vista previa.....</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 214. Visualización de la sección transversal del modelo.....</i>	<i>181</i>
<i>Ilustración 215. Visualización de la sección longitudinal del modelo.....</i>	<i>182</i>
<i>Ilustración 216. Perfil longitudinal del modelo</i>	<i>183</i>
<i>Ilustración 217. Perfil transversal del modelo.....</i>	<i>183</i>



<i>Ilustración 218. Creador de vídeo.....</i>	<i>184</i>
<i>Ilustración 219. Creación de los puntos de vista y la trayectoria</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 220. Parámetros del vídeo.....</i>	<i>185</i>
<i>Ilustración 221.Proceso de creación del vídeo</i>	<i>186</i>
<i>Ilustración 222. Exportación del vídeo en formato *.AVI.....</i>	<i>186</i>

1. INTRODUCCIÓN



1.1. OBJETIVO

El principal objetivo de este proyecto es la modelización tridimensional de superficies rocosas de litología de areniscas triásicas, en concreto unas manifestaciones rupestres que podrían corresponder a un yacimiento celta.

Uno de los motivos tenidos en cuenta a la hora de elegir este emplazamiento es generar la representación de un lugar por descubrir, con interés arqueológico y geológico, y que pueda ayudar a ampliar el patrimonio cultural de la zona. El motivo por el que se eligió la metodología láser escáner, es la capacidad que tienen estos equipos de analizar sobre la roca patrones geométricos y detalles morfológicos que, a simple vista, pasan desapercibidos.

Toda la región está documentada como zona con numerosas manifestaciones de civilizaciones celtíberas y romanas, con emplazamientos militares, castros, necrópolis..., lo cual es un contexto a tener en cuenta a la hora de la adscripción de datación del yacimiento encontrado.

Además, se sabe que el litoral del mar de Tethys llegaba en el Triásico hasta ese lugar, información que será de interés más adelante para corroborar una de las manifestaciones encontradas, adicionales al posible yacimiento celta anteriormente mencionado.

La placa rocosa en la que se centrará el estudio de la modelización 3D abarca aproximadamente 5x5 metros.

El equipo que se ha utilizado para el levantamiento es un láser escáner Riegl LMS-Z420i con una precisión teórica de 10 mm, y que cuenta con cámara Canon EOS 20D calibrada.

El software utilizado ha sido el programa propio del láser escáner, Riscan Pro, para un procesamiento inicial, y el programa Real Works, para completar el trabajo de modelización y análisis objeto del presente Proyecto Fin de Carrera (PFC). Como parte del proyecto, se describen los pasos del procesamiento con dichos programas, para agilizar el trabajo de futuros profesionales que utilicen este proyecto como guía.

Al final, como resultado del tratamiento de los datos obtenidos, se obtiene un modelo tridimensional de la placa rocosa.

1.2. LOCALIZACIÓN

El lugar objeto de este proyecto se sitúa en las inmediaciones del pueblo de Anguita, un pueblo localizado al norte de la provincia de Guadalajara, casi en el límite con Soria. Esta zona es conocida por sus numerosos descubrimientos arqueológicos.

Ubicación de Anguita:



Ilustración 1. Situación de Anguita

Anguita se encuentra en plena rama castellana del Sistema Ibérico, en Sierra Ministra, atravesada por el río Tajuña, afluente del río Jarama, curso fluvial que finalmente desemboca en el río Tago. El río Tajuña baña las vegas cuaternarias formadas con sus depósitos a los pies del pueblo de Anguita, y se encuentra rodeado de colinas y montañas que conforman una hoz controlada por una falla transversa a las estructuras.

Los materiales del valle corresponden al periodo geológico Triásico.

A continuación se muestra el mapa de Anguita con información del MTN25 de la hoja 462-3 (Alcolea del Pinar) y 462-4 (Maranchón), la ortofoto de la misma zona, y el mapa geológico con información del tipo de suelo y las fallas de la región.

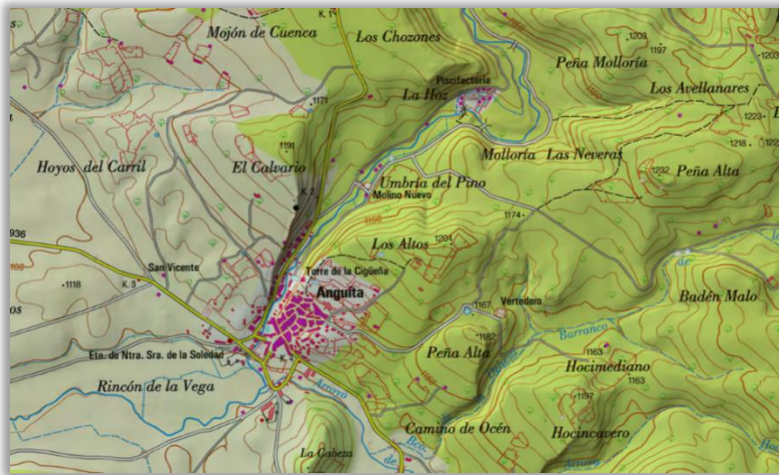


Ilustración 2. MTN25 de Anguita



Ilustración 3. Ortofoto de Anguita



Ilustración 4. Detalle del mapa geológico de Anguita



2. CONTEXTO HISTÓRICO



2.1. ZONA DE INTERÉS ARQUEOLÓGICO

El emplazamiento donde se encontraron las manifestaciones rocosas de este PFC, no sólo contenían las huellas del posible yacimiento celta, sino también formaciones que hacen pensar en fondos marinos del periodo triásico, elementos fosilizados, huellas que pueden hacer referencia a algún tipo de dinosaurio y huellas que pueden situar el yacimiento dentro del mundo celta o del mundo medieval. Todos estos puntos de interés abarcan una superficie aproximada de 200x100 metros.

En este lugar, la diversidad de descubrimientos que se pueden llegar a hacer es grande, situándonos en diferentes periodos históricos y prehistóricos. El PFC se ocupa del presunto yacimiento celta, pero también se tratarán estos pequeños descubrimientos que abren la puerta a seguir ampliando el patrimonio histórico de la zona.

La mayoría de estas manifestaciones se encuentran sobre roca de litología de areniscas del periodo Triásico.

2.2. INTRODUCCIÓN A LAS ERAS GEOLÓGICAS

La Tierra se formó hace 4.650 millones de años, y hace 3.800 comenzaron a aparecer las primeras células.

El tiempo que le ha llevado a la Tierra mostrarse tal y como la conocemos hoy en día se puede dividir en distintas eras, cada una de las cuales vio nacer una nueva forma de vida.

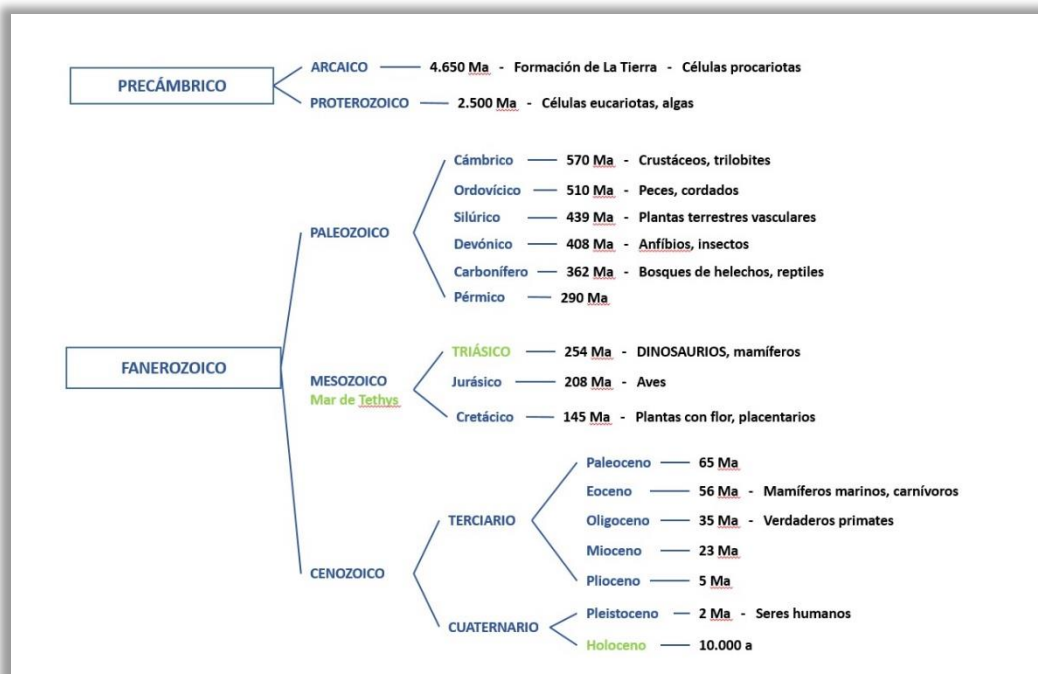


Ilustración 5. Eras geológicas de La Tierra

Dado que en este proyecto se va a hablar de placas de suelo con fondos marinos fosilizados del mar de Tethys, huellas de dinosaurios y yacimientos arqueológicos de origen celtíbero o medieval, las eras que nos interesan son la Mesozoica centrada en el periodo Triásico, y la Cenozoica Cuaternaria centrada en el periodo Holoceno.

El Triásico es la primera de las tres partes en las que se divide la era Mesozoica. Abarca desde el final del Pérmico hasta el principio del Jurásico. Tanto su principio como su final vienen marcados por grandes eventos de extinción.

Fue nombrado en 1834 por Friedrich Von Alberti basándose en las tres diferentes capas de suelos que se depositaron en aquel periodo. Cada una de esas capas se denomina triás, y de ahí el nombre del periodo.

Durante el Triásico, casi todas las masas de tierra del planeta estaban concentradas en un sólo supercontinente que se situaba más o menos sobre el Ecuador llamado Pangea, con un extenso golfo que se abría en su parte oeste y al que se le ha dado el nombre de Mar de Tethys, y un extenso océano que cubría el resto de la Tierra y cuyo nombre era Panthalassa. Fue al final de este periodo cuando comenzaron los movimientos de ruptura que provocaron la fragmentación de Pangea.

Dicho Mar de Tethys se extendía hasta la mitad de nuestra actual península ibérica, coincidiendo con la localización de Anguita y los hallazgos realizados en sus proximidades, como son los fondos de suelo marino fosilizados o las huellas de dinosaurios encontradas.



Ilustración 6. Representación del mar de Tethys

En cuanto a las formas de vida de esta era, podemos dividirlos en tres grandes grupos:

- Los que superaron la gran extinción de finales del Pérmico.
- Los nuevos grupos surgidos durante el Triásico pero que no superaron la extinción con la que terminó este periodo.
- Los grupos que sobrevivieron durante todo el Mesozoico.

Entre los animales de aquella época, se encuentran los dinosaurios, que surgieron en el Triásico superior, situado entre los 235 y 208 millones de años de antigüedad.

En cuanto al período Holoceno, es el último y actual periodo geológico situado en la era Cenozoica. El inicio del Holoceno se establece en el cambio climático correspondiente al fin del episodio frío conocido como Dryas Reciente, posterior a la última glaciación, y comprende los últimos 11.784 años, tomando el

año 2000 como base de referencia cronológica. Es un período interglaciar en el que la temperatura se hizo más suave y la capa de hielo se derritió, lo que provocó un ascenso del nivel del mar.

La única especie humana que ha vivido en esta época ha sido el *Homo sapiens*, que durante estos últimos milenios desarrolló la agricultura y la civilización, ocasionando importantes cambios en el medio ambiente.

La civilización que interesa para este proyecto del Holoceno es la celtíbera, que se sitúa entre el S.XIII a.C., hacia finales de la edad del Bronce, hasta el S.I ó S.II a.C. con la romanización de Hispania.

2.3. FONDO MARINO FOSILIZADO

Estas placas son las más numerosas de todas las que se van a describir, y rondan aproximadamente los 10x5 metros de superficie cada una. Todas ellas son fragmentos de placas de roca mayores que se han fracturado con el paso de los años y con los movimientos internos terrestres.

Lo que más llama la atención de estas litologías es su peculiar morfología, presentando pequeñas ondulaciones que podrían interpretarse como un fondo marino.

Como se ha comentado en el apartado anterior, esta zona se encuentra dentro de los límites del antiguo mar de Tethys, y es este hecho el que hace pensar que las placas de suelo de la zona pudiesen formar parte de él en el periodo Triásico.

A continuación se mostrarán algunos ejemplos de este tipo de morfología:



Ilustración 7. Morfología de fondo marino fosilizado



Ilustración 8. Morfología de fondo marino fosilizado (detalle)



Ilustración 9. Ripples: Huellas de oleaje fosilizado

Haciendo referencia a lo mencionado anteriormente sobre las trías o capas de materiales del periodo triásico, cabe mencionar que dichas capas son:

- Buntsandstein: compuesto principalmente de areniscas con color. Este tipo de roca resulta ser muy maleable y, por tanto, apta para encontrar numerosas huellas de épocas anteriores.
- Huschelkalk: es principalmente caliza y la capa intermedia de dicho periodo.
- Keuper: se componen de arcillas margosas y es la capa más superficial de las tres.

Todas las placas de fondo marino fosilizado encontradas cerca del yacimiento están compuestas por areniscas del Buntsandstein.

Se puede observar además que algunas placas de fondo marino fosilizado se han encontrado parcialmente erosionadas. Teniendo en cuenta que el yacimiento se encuentra en el fondo de un valle, es muy probable que se deba a un antiguo río que gastase la roca o a las continuas lluvias de la zona que pudiesen ejercer un efecto similar.



Ilustración 10. Morfología de suelo marino fosilizado desgastado por erosión del agua



Ilustración 11. Morfología de suelo marino fosilizado desgastado por erosión del agua con ripples

Todas estas placas son de interés geológico y con ellas su modelización 3D.

2.4. HUELLAS EN LA ROCA

En algunas placas de suelo de la zona se pueden apreciar morfologías de origen animal, huellas o moldes de huellas marcadas en la roca.

Debido a la forma que tienen, con la planta y los tres dedos marcados, y dado que se han encontrado placas de suelo con fondo marino del mar de Tethys fosilizado en el mismo emplazamiento que las sitúa en el periodo Triásico, se llegó a pensar en huellas de algún tipo de dinosaurio.

Según a la opinión de expertos en la materia, en concreto el paleontólogo Don Enrique Lorenzo Gondar, se cree que dichas huellas podrían pertenecer a un terópodo, que es un suborden de dinosaurios sauríquios que vivieron en el Triásico Superior y que aún hoy en día siguen presentes gracias a sus descendientes: las aves. A pesar de ello, la mayoría se extinguieron en la masiva extinción del Cretácico-Terciario.

Los terópodos conforman un variado y amplio grupo de dinosaurios caracterizados por tener una dieta carnívora y el andar bípedo. Su forma varía desde pequeños cazadores primitivos de no más de un metro, como el *Eoraptor lunensis*, a gigantescos depredadores de más de 14 metros de largo, como el *Spinosaurus aegyptiacus*, el *Giganotosaurus carolinii* o el *Carcharodontosaurus saharicus*.

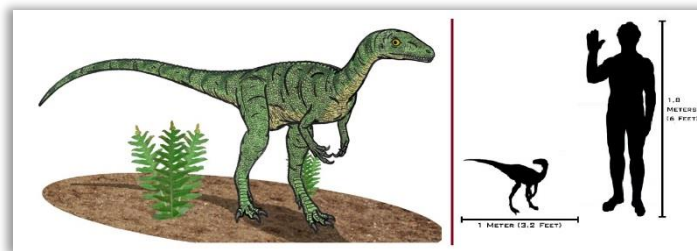


Ilustración 12. *Eoraptor lunensis*

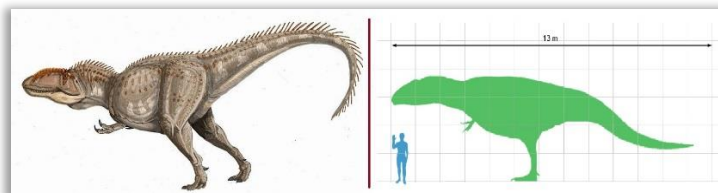


Ilustración 13. *Giganotosaurus carolinii*

Estos animales tenían dos patas traseras largas y fuertes para correr, y una cola musculosa para mantener el equilibrio. La palabra terópodo significa pata de animal. Casi todos los dinosaurios de este grupo tenían tres dedos orientados hacia el frente y provistos de afiladas garras, y un cuarto dedo con una garra dirigido hacia atrás. Las patas delanteras eran cortas y con afiladas zarpas.

El hecho de que los moldes encontrados estén tan marcados y profundos, además de la forma que presentan, es lo que ha llevado a pensar en este tipo de dinosaurios y no en uno cuadrúpedo o en uno volador: en el caso de los cuadrúpedos las huellas o moldes de huellas tendrían distinta forma, y en el caso de los voladores, por su peso y por la ayuda que ejercen las alas, éstas estarían mucho menos marcadas. Además, la disposición de las huellas en la roca se encuentran emparejadas y recuerdan el andar de un animal bípedo.

Con ayuda de la metodología de escaneo y representación 3D se podrían llegar a analizar estos detalles con mayor claridad y los modelos podrían permitir un estudio más minucioso del tipo de huella.



Ilustración 14. Huella de dinosaurio



Ilustración 15. Huella de dinosaurio (remarcada)

A pesar de que en el caso de este proyecto sólo se han encontrado tres huellas, toda la zona está repleta de placas de la era triásica y es fácil llegar a encontrar muchas más, incluso en opinión de varios expertos, podrían existir varias hileras de huellas que indicasen un antiguo paso de este tipo de dinosaurios.

Todo ello lleva a considerar la zona de las inmediaciones de Anguita como zona de interés de trabajo arqueológico y paleontológico, y por tanto de interés también para trabajos dedicados a la tecnología láser escáner.

Es en esta misma placa de suelo donde además se ha podido encontrar, tallado en la piedra, lo que podría ser un símbolo celta, llegando a esta conclusión gracias a la gran cantidad de hallazgos celtas que

se han hecho por toda la zona de Guadalajara y Soria; o bien un detalle medieval, por su parecido a símbolos cristianos de la época, además de la grabación en latín que se puede apreciar bajo ella. No se ha podido esclarecer hasta el momento su origen ya que las imágenes comparativas encontradas en el momento de la investigación apuntan a ambas civilizaciones.

En el caso de ser un símbolo celta, éste podría corresponder a la firma del cantero que pudo construir una presunta necrópolis, sobre la que se ha realizado la modelización 3D y que veremos más adelante, o incluso de los restos de un poblado que se pueden apreciar en las inmediaciones de la misma. Se ha llegado a esta conclusión debido a que éstos solían dejar algún tipo de marca cuando construían algún asentamiento, castro, necrópolis, o cualquier tipo de construcción.

En el caso de ser una marca medieval, hay dos posibles opciones:

- Que ya estuviese el símbolo en la roca y se reutilizase por su parecido a símbolos cristianos, subrayándolo con la inscripción en latín.
- Que se grabase directamente el símbolo y la inscripción, a modo de marcar un posible viacrucis o por cualquier otro motivo religioso.

En uno de los grabados se puede observar una cruz alargada y, en uno de sus extremos, una forma triangular o redonda, que lo asemejan a los símbolos anteriormente mencionados.



Ilustración 16. Símbolo celta o medieval (remarcada)



Ilustración 17. Símbolo con inscripción en latín

Además se encuentra grabado en la roca otro símbolo, esta vez situado en la placa de la parcela del PFC. Este símbolo se encontró al terminar de limpiarla y prepararla para la toma de datos, y ya se trata de una marca más parecida a los símbolos cristianos conocidos.



Ilustración 18. Símbolo cristiano en nuestra parcela de trabajo

Éstas son algunas de las imágenes comparativas:



Ilustración 19. Crismón



Ilustración 20. Símbolos comparativos

Como ya se ha mencionado anteriormente, estos últimos símbolos no se han podido determinar hasta el momento si son de origen celta o medieval, ya que aparecen como símbolos de ambas civilizaciones.

2.5. FÓSILES ENCONTRADOS

Por toda la zona del yacimiento objeto del proyecto y sus alrededores, se pueden encontrar fósiles o moldes de fósiles de naturaleza muy variada. Se pueden apreciar restos de cerámica, huellas grabadas en la piedra de lo que pueden ser restos de alhajas, y sobretodo raíces y partes de plantas claramente marcados.

Uno de ellos, el menos claro, es una marca muy leve en la piedra que podría ser la huella de algún tipo de objeto geométrico, dada su forma curva; además se puede apreciar una leve filigrana que acompaña la línea curva y que, in situ, se ve con mayor claridad.



Ilustración 21. Molde de algún tipo de objeto geométrico antiguo

Otro de los fósiles encontrados tiene una forma alargada y similar a una figura cilíndrica, con unas estrías en la superficie que lo hacen semejante a una rama o un tronco pequeño de un árbol. A pesar de las similitudes mencionadas, en los extremos del supuesto fósil se puede apreciar que no hay cambios de color que puedan apuntar a las capas de cualquier material orgánico, por lo que se podría llegar a la conclusión de que en realidad fuese el molde de algún tronco de esas dimensiones o un canal que se ha ido rellenando con el tiempo con materiales arcillosos.



Ilustración 22. Posible molde de tronco de árbol fosilizado

Al dorso de ese mismo fragmento se pueden apreciar también ciertas marcas que se pueden interpretar como raíces de plantas, incluso las del mismo árbol, pero que según la opinión de expertos en la materia, son manifestaciones de bioturbación, es decir, alteraciones producidas por la actividad de seres vivos. En este caso podrían ser galerías de gusanos que fueron rellenadas por material sedimentario de tipo arcilloso.



Ilustración 23. Manifestaciones de bioturbación

2.6. YACIMIENTO ANTROPOLÓGICO

Por último, estudiaremos la placa sobre la que se ha realizado la representación 3D con metodología de Láser Escáner, que tiene una dimensión de 10x10 metros aproximadamente. Sobre ella se aprecian huecos alargados en la roca, canalizaciones y otras formas geométricas. Esta placa se sitúa a tan sólo unos 10 o 15 metros de la placa sobre la que se encontraron las huellas de terópodo y la marca que se supone de origen celta o medieval.

Así mismo y como ya se ha comentado en el apartado de “*Huellas en la roca*”, se han encontrado marcas de diferente origen en la placa del PFC. En uno de los casos se trata de un círculo atravesado de una cruz, símbolo claramente cristiano aunque sin confirmar, que se ha mostrado en la *Ilustración 18*. En otro de los casos se puede apreciar claramente las marcas de cincel del momento en que se trabajó la piedra. Así mismo se puede apreciar las tres etapas de trabajo que tuvo el mayor de los rectángulos de la parcela, ya que hay tres filas de marcas, cada una con una orientación, hasta llegar a la profundidad que tiene la roca.



Ilustración 24. Marcas de cincel

En estas ilustraciones podemos apreciar también un cambio de color de la roca. Esto es debido a la cantidad de tierra que había encima de la placa en cuestión, y que se tuvo que quitar para llevar a cabo la modelización 3D. Se ve como la parte que se encontraba al aire antes de iniciar el proyecto es más oscura que la parte que se encontraba enterrada, que tiene un color más arcilloso propio de la tierra de la zona.

Podría ser un yacimiento de origen celta debido a la situación y a la cantidad de hallazgos de origen celta y romano que hay en los alrededores. A pocos kilómetros se puede encontrar un castro de origen celta en uno de los collados de la zona, así como emplazamientos militares de origen romano en pueblos vecinos. De hecho, a pocos metros de la placa de suelo hay numerosas muestras de poblado, con el tipo de construcción propia de la civilización en cuestión. Se pueden encontrar calzadas, suelos de viviendas, piedras cinceladas, así como pequeños trozos de cerámica.

En cuanto a la finalidad de este asentamiento podría ser una necrópolis, según la opinión de María Inés Tabar Sarriás, exdirectora del museo arqueológico de Pamplona, ya que los huecos existentes son cóncavos, con forma de cuna del tamaño medio de una persona aproximadamente, y cuya finalidad podría ser la de depositar a los muertos. Normalmente, en la cultura celta solían enterrar a los difuntos, pero en caso de una diezma grande de la población en poco tiempo, como podría ser por una enfermedad o por una guerra, improvisaban tumbas más superficiales en las cuales se depositaban los cuerpos para que se los llevasen los animales carroñeros de la zona o para su incineración.

Se pueden apreciar canalizaciones con ángulos rectos y una forma circular al lado de las cunas que acabamos de mencionar, por lo que también podría ser una vivienda de dicha civilización, con los huecos a modo cama, la canalización cerca de ellos y lo que parece una especie de molino de mano para moler grano y semillas.

Otra posibilidad es que se tratase de una cantera medieval, de donde se sacasen piedras para utilizarlas en una iglesia o cualquier otro tipo de construcción, por ejemplo, las cubiertas de los sepulcros de personas de importancia social. Esta opción parece menos probable por la forma que presenta la placa de suelo, ya que la metodología de trabajo para la extracción de piedras de canteras no concuerda con las marcas de la misma. Después del desbroce o retirada de la tierra que cubría la roca, se capeaba el material, es decir, se buscaban fracturas e imperfecciones en la roca que facilitasen el trabajo. En la parcela hay una única fractura y numerosas cavidades, siendo éste el primer indicio de que el yacimiento no sea una cantera. Por otro lado, una vez extraído el bloque de piedra, se procedía a su partición en piezas de menor tamaño que se ajustasen más a la medida que se solicitaba y se realizaba un primer desbastado, lo que indica que se obtenían muestras de piedra de mayor tamaño al requerido y que nunca se conseguía directamente de la piedra con la forma que se quería. En este caso, los huecos son ya de por sí del tamaño justo de una persona, por lo que el bloque de piedra obtenido de ahí sería muy pequeño dado el tratamiento posterior que se le daba. Por otro lado, los huecos en la parcela son bastante regulares y pulidos, todos iguales, lo que hace pensar que la finalidad de dicho descubrimiento fuera dichos huecos y no los trozos de piedra que de ahí pudiesen salir.

En las siguientes ilustraciones se presenta el estado del yacimiento antes de limpiarlo para la toma de datos



Ilustración 25. Yacimiento



Ilustración 26. Cunas del yacimiento



Ilustración 27. Canalización y otras formas geométricas del yacimiento

Éste fue el hallazgo que más llamó la atención de los especialistas, siendo el motivo de que se centre sobre él la modelización 3D con tecnología láser escáner a modo de propuesta de metodología para la investigación arqueológica de la zona. La realización de una representación 3D es una forma de llevar este yacimiento a manos de personas que realmente puedan formar una opinión experta de su origen sin necesidad de realizar un desplazamiento al lugar.

Además hay una motivación de índole personal, ya que el yacimiento fue encontrado por la presente autora del proyecto y un compañero de trabajo.

A continuación, y para finalizar el capítulo *Contexto histórico*, se mostrará el croquis de distribución de los diferentes hallazgos encontrados, que abarcan aproximadamente una superficie de 200x100m.

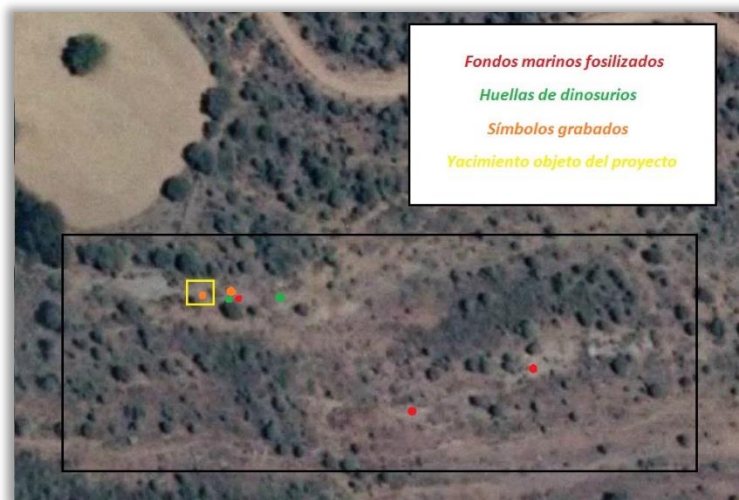


Ilustración 28. Distribución de los hallazgos realizados en las proximidades del yacimiento



3. TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER



3.1. INTRODUCCIÓN

La introducción de las nuevas tecnologías al ámbito del profesional en Topografía requiere una actualización constante de conocimientos, ya que éstas van modificando el instrumental y la metodología para proporcionar mejores posibilidades a la hora de adquirir, procesar y presentar información espacial.

La medición con equipos láser escáner se está desarrollando muy rápidamente, por lo que se hace necesario saber qué son, cómo funcionan, qué tipos hay y cuál es su metodología de trabajo.

Los levantamientos topográficos que se realizan con instrumentos de medición del tipo láser escáner requieren de unos procesos de tratamiento de la información que difieren de los que se realizan tradicionalmente en un proyecto de cartografía. Es por ello por lo que se hace necesario dar a conocer dichos procesos para completar las competencias propias del ingeniero técnico en Topografía.

3.2. ANTECEDENTES

El proceso de documentación geométrica de objetos, se cuenta actualmente con herramientas de gran precisión, que han permitido agilizar el registro de datos, maximizar la información obtenida y conseguir resultados que aportan una representación cada vez más fiel a la realidad.

Aunque la mayor parte de los resultados gráficos obtenidos en los procesos de documentación geométrica se orientan a representaciones 2D, cada vez se hace más necesario obtener un registro en 3D para obtener un modelo tridimensional que represente la geometría del objeto. Estos modelos tridimensionales son necesarios en distintos campos, y gracias a la tecnología láser escáner se pueden obtener de forma más rápida y precisa que con las metodologías anteriores (levantamientos topográficos tradicionales y fotogrametría). La tecnología láser escáner ha dejado de ser una tecnología novedosa para convertirse en una herramienta contrastada, cara y con algunos problemas en el tratamiento de la información.

En el campo de la arqueología y del patrimonio cultural la tecnología láser escáner ha supuesto un gran avance gracias al registro de información de manera rápida y exhaustiva, permitiendo la evaluación de yacimientos con un alto grado de información fácilmente almacenable y facilitando su divulgación científica. Una característica muy importante de esta tecnología en este campo es la posibilidad de realizar el registro geométrico de objetos arqueológicos sin necesidad de contacto, y un gran avance en las tareas de rehabilitación y reconstrucción.

En cuanto a la ingeniería y arquitectura, esta tecnología tardó más tiempo en utilizarse de forma habitual, pero en la actualidad es un campo en expansión. Las posibilidades son enormes, desde la fabricación de pequeñas piezas industriales, hasta el registro geométrico de superestructuras de ingeniería para su ejecución y control posterior.

En la actualidad, las tecnologías láser escáner están demostrando un avanzado ritmo de crecimiento, tanto en instrumental, como en metodologías de trabajo y software de tratamiento de datos, permitiendo un gran abanico de posibilidades para la obtención de modelos tridimensionales de cualquier tipo.



Ilustración 29. Distintos tipos de equipos escáner

3.3. FUNDAMENTOS DEL LÁSER ESCÁNER

3.3.1. El espectro electromagnético y la luz

El espectro electromagnético nos es más familiar de lo que podría pensarse. Las microondas que utilizamos para calentar la comida y el teléfono móvil por ejemplo utilizan partes del espectro electromagnético. La razón por la que vemos los objetos es porque emiten, reflejan o transmiten una parte de la franja visible del espectro que llamamos luz. Esta parte visible del espectro electromagnético está compuesta por los colores que podemos ver en el arco iris (desde los rojos y naranjas hasta los azules y violetas).

Cada uno de los colores corresponde a una longitud de onda diferente. Esto se puede observar si hacemos pasar luz blanca a través de un prisma de vidrio. La luz violeta es desviada –refractada– más que la roja debido a que tienen una longitud de onda más corta, y es por ello por lo que vemos el efecto del arco iris.

Las longitudes de onda del espectro electromagnético varían desde las ondas largas de radio (del tamaño de edificios) hasta las ondas cortas de los rayos gamma que pueden ser más pequeñas que el núcleo de un átomo.

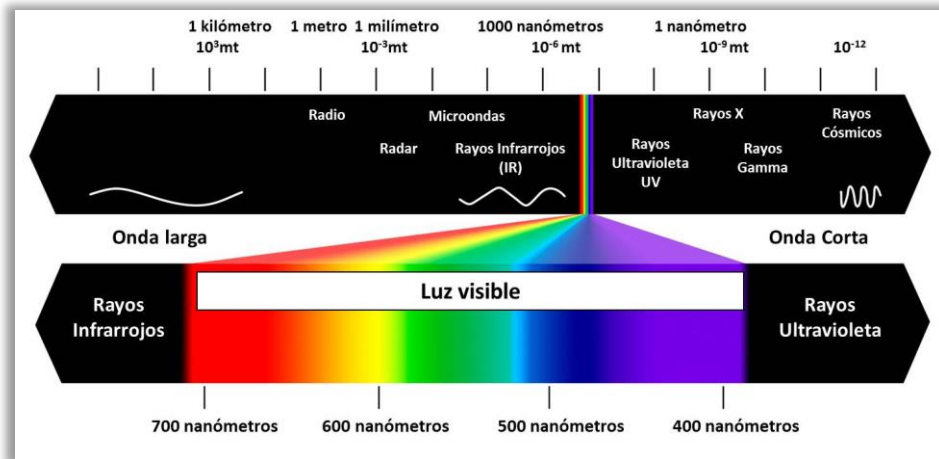


Ilustración 30. El espectro electromagnético

El espectro electromagnético se puede expresar en términos de energía, longitud de onda o frecuencia. Estas magnitudes están relacionadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$c = v \cdot \lambda$$

$$E = h \cdot v = \frac{c}{\lambda}$$

donde:

- c es la velocidad de la luz, 299.792.458 m/s.
- h es la constante de Planck, 6.626069·10⁻³⁴ J·s.
- v representa la frecuencia y λ la longitud de onda.

De este modo, las frecuencias altas del espectro tienen longitudes de onda cortas y energía alta y viceversa.

3.3.2. Láseres

A un instrumento que sea capaz de generar ondas de luz usando una estrecha banda del espectro se le llama láser. Un láser típico emite luz en un estrecho y poco divergente haz de longitud de onda bien definida (correspondiente a un color particular si el láser opera en el espectro visible). Esto contrasta con otra fuente de luz como la bombilla incandescente, que emite luz con una gran abertura y con un amplio espectro de longitudes de onda, lo que hace que veamos la luz de la bombilla de color blanco y no sólo en una única dirección. Estas propiedades se pueden resumir con el término coherencia.

Realmente, los láseres son similares a los transistores: generan o amplifican luz al igual que los transistores generan o amplifican señales electrónicas de audio, radio o frecuencias de microondas. La palabra láser es el acrónimo en inglés de las palabras amplificación de la luz por emisión inducida de radiación (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).



Actualmente, los láseres se usan en la vida diaria, especialmente en los dispositivos de almacenamiento óptico como los reproductores de CD y DVD, en los cuales el láser escanea la superficie del disco para la lectura de los datos. Otras aplicaciones comunes del láser son los lectores de los códigos de barras y, obviamente, los punteros láser. En la industria, los láseres se usan para cortar el acero y otros metales y para grabar estampados como por ejemplo las letras en los teclados de ordenador. También se utilizan en aplicaciones médicas y militares.

3.3.3. Propiedades importantes de la luz láser

La luz láser es simplemente luz generada mediante un instrumento láser. Esta luz tiene algunas propiedades muy especiales que la distinguen de la luz proveniente de otras fuentes:

- La luz láser se genera en forma de haz láser. Este haz tiene un alto (a veces extremadamente alto) grado de coherencia espacial, por lo tanto se propaga en una dirección bien definida con un haz moderadamente divergente. El término coherencia hace referencia a que la señal eléctrica guarda una relación de fase constante en diferentes puntos a lo largo del haz. Esta coherencia es la razón por la que un haz láser se puede propagar a lo largo de largas distancias y se focaliza produciendo manchas de luz muy pequeñas.
- La luz láser también tiene un alto grado de coherencia temporal (en la mayoría de los casos), lo que equivale a una longitud de coherencia larga. Longitudes de coherencia largas implican una rígida relación de fase a través de intervalos de tiempo relativamente largos, correspondientes a largas distancias de propagación (a menudo algunos kilómetros).
- Se obtiene un ancho de banda espectral (o ancho de línea) estrecho combinando una coherencia temporal grande con un tiempo de coherencia grande. Esto significa que los haces de láser visible tienen un cierto color puro, por ejemplo rojo, verde o azul, pero no blanco o magenta. Por ejemplo, la mayoría de los láseres usados en mediciones cortas y medias tienen una longitud de onda de 1064 nm (infrarrojo cercano) o 532 nm (láser verde). Es destacable que una longitud de coherencia larga introduce una tendencia al fenómeno del ruido del láser, es decir, que se puede observar un patrón granular característico. Este efecto se puede observar cuando un haz láser incide en una superficie metálica.
- En la mayoría de casos, la luz láser está polarizada linealmente. Esto significa que el campo eléctrico oscila en una dirección espacial particular.

La luz láser puede tener otras propiedades destacables en función de la aplicación:

- La luz láser puede ser visible, pero la mayoría de láseres emiten en otras regiones del espectro, particularmente en el infrarrojo cercano, que el ojo humano no puede percibir.
- La luz láser no siempre es continua, pero puede ser emitida en forma de pulsos cortos o ultra cortos. Como consecuencia de esto, los máximos de potencia pueden ser extremadamente altos.

Los haces de láser permanecen enfocados cuando se proyectan sobre un escenario lejano gracias a las propiedades de coherencia. Otra propiedad fundamental de las ondas de luz láser es su velocidad de propagación. La luz viaja con una velocidad finita y constante en un determinado medio. Como consecuencia de estas propiedades, la luz láser es muy adecuada para la medición de objetos.

3.3.4. Seguridad láser

El láser se usa en una amplia variedad de aplicaciones, entre las que encontramos aplicaciones científicas, militares, medicina y el comercio, todos ellos desarrollados desde la invención del láser en 1958. La coherencia, la alta monocromaticidad, y la capacidad de alcanzar potencias extremas son propiedades que permiten utilizarlo en estas aplicaciones especializadas. Por tanto, la luz láser debe ser manejada con una precaución extrema y se estima fundamental conocer los diferentes tipos de láser.

Para permitir a los usuarios que determinen el riesgo potencial, todos los láseres e instrumentos que hacen uso del láser están etiquetados y clasificados dependiendo de la longitud de onda y de la potencia de energía que produce el láser. El estándar europeo IEC 60825-1 proporciona información sobre las distintas clases y precauciones asociadas. Se describen siete clases de láser:

- Clase 1. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos para visión intrahaz.
- Clase 1M. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero pueden ser peligrosos si se emplean lentes con el haz.
- Clase 2. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso instrumentos ópticos con visión intrahaz.
- Clase 2M. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección en condiciones de utilización razonablemente previsibles. Sin embargo, la visión de la salida del haz pueden ser peligrosa si el usuario emplea lentes con el haz.
- Clase 3R. Láseres potencialmente peligrosos cuando se produce visión directa intrahaz, aunque el riesgo es menor que en el caso de láseres de la Clase 3B.
- Clase 3B. Normalmente son peligrosos si ocurre exposición directa intrahaz, aunque la visión de reflexiones difusas es normalmente segura. Generalmente, esta clase de láser no es adecuada en aplicaciones de campo.
- Clase 4. Si se observan directamente causarán daños en los ojos o en la piel. Los láseres de esta clase también pueden producir reflexiones peligrosas. Esta clase de láser no es adecuada en aplicaciones de campo.

Los usuarios de sistemas de escaneado láser deben ser siempre conscientes de la clase de su instrumento. Particularmente, el usuario debe asegurarse que se está utilizando la clasificación correcta. (Véase al estándar IEC para más información sobre seguridad láser).



Precauciones particulares y procedimientos a tener en cuenta en topografía, alineación y nivelación se describen en el estándar IEC para los productos con láser Clase 1M, Clase 2M y Clase 3R. Estas precauciones relevantes para los escaneados láser son:

- Sólo el personal cualificado y preparado debe ser asignado para instalar, ajustar y utilizar el equipamiento láser.
- Las áreas donde se utiliza estos láseres deberían estar señalizadas con la señal de advertencia apropiada.
- Deberían tomarse precauciones para asegurar que el personal no mira al haz (de manera prolongada e intrahaz ya que puede ser peligroso). La visión directa del haz a través de instrumentos ópticos (teodolitos, etc.) también puede ser peligrosa.
- Deberían tomarse precauciones para garantizar que el haz láser no se dirige a superficies especulares tipo espejo de manera intencionada.
- Cuando el equipo láser no esté en uso debe guardarse en un sitio donde el personal no autorizado no tenga acceso.
- Debe utilizarse equipamiento láser especial a prueba de explosiones en entornos con peligro potencial de explosión (p. ej. plantas petroquímicas, minas). Las propiedades de este equipamiento son: el máximo de potencia del láser y la temperatura máxima deberían estar limitados. Además, que no produzca chispas.

3.4. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS ESCANER 3D

3.4.1. Contacto

3.4.1.1. En contacto con el objeto

Este tipo de escáneres examinan el modelo mediante toques físicos sobre el objeto, es decir, cada toque en el objeto corresponde con un punto del modelo. Con este tipo de escáneres se obtienen modelos muy precisos, por lo que se suelen utilizar para fabricar piezas. Alguno de los inconvenientes de este tipo de escáneres son que puede dañar el objeto escaneado al tocarlo y que su velocidad de escaneado es lento en comparación con otro tipo de escáneres.

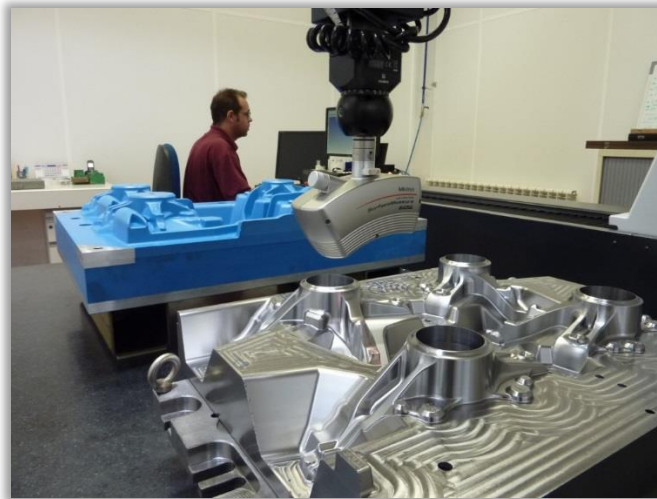


Ilustración 31. Escáner de contacto

3.4.1.2. Sin contacto con el objeto

Este tipo de escáneres funcionan de manera que no llegan a tocar el objeto escaneado físicamente, sino que utilizan algún tipo de radiación como puede ser la luz (láser, infrarroja, natural) o el ultrasonido, entre otros. Éste es el caso de los escáneres que vamos a tratar y los cuales vamos a clasificar.



Ilustración 32. Escáner sin contacto

3.4.2. Sistema de medida

Debido a los recientes desarrollos en la visión por ordenador y la tecnología de sensores, la luz se ha utilizado de varias maneras para medir objetos. Estas técnicas de medición se pueden dividir en dos categorías: técnicas activas y pasivas.

Las técnicas pasivas no emiten radiación alguna, pero en cambio se basan en detectar la radiación ambiental reflejada. La mayoría de escáneres de este tipo detectan la luz visible porque es una radiación ambiental fácilmente disponible. Otros tipos de radiación, como el infrarrojo también puede ser usado. Los métodos pasivos pueden ser muy baratos porque en la mayoría de los casos no necesitan más hardware que una cámara digital. El problema con estas técnicas es que dependen de encontrar correspondencias entre imágenes 2D, lo que no siempre tiene una única solución. Por ejemplo, patrones repetitivos tienden a producir errores. La precisión de estos métodos depende mayoritariamente de la resolución de las imágenes y de la densidad de elementos identificables en ellas.

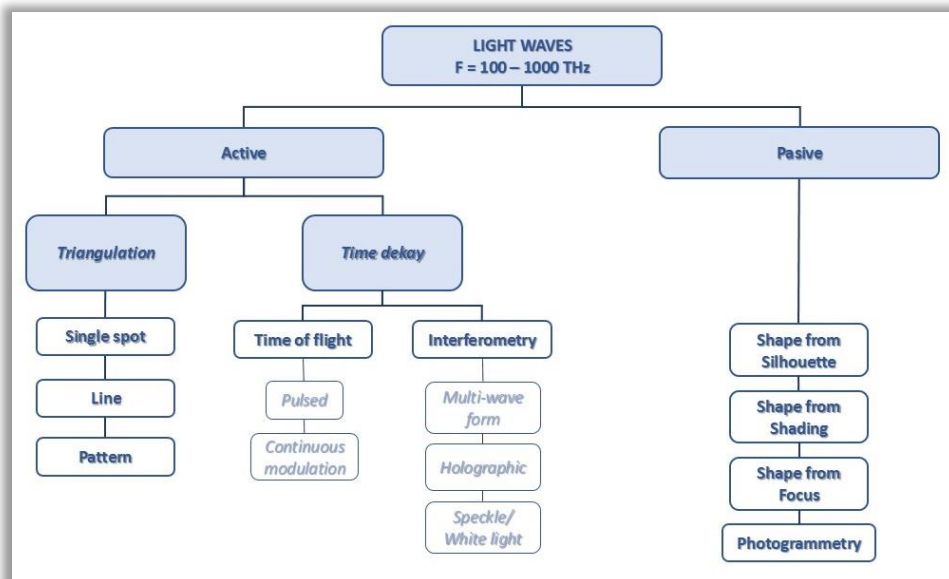


Ilustración 33. Clasificación de equipos láser escáner según su sistema de medida

Los escáneres activos emiten algún tipo de radiación controlada y detectan su reflexión con el fin de sondear un objeto o un entorno. Los posibles tipos de radiación utilizados incluyen la luz, los ultrasonidos o los rayos X. Como estas técnicas de medición activa requieren un transmisor láser y un receptor, son más complejos mecánicamente que las técnicas pasivas. Las principales ventajas de estos sistemas son:

- ◆ No requieren luz ambiental, porque ellos generan su propia radiación.
- ◆ Proporcionan gran cantidad de mediciones de manera automática.
- ◆ Se pueden utilizar en superficies sin rasgos distintivos.
- ◆ Capturan mucha información en poco tiempo (1000-500.000 pto/s).

Sin embargo, algunos sistemas activos pueden verse afectados por fuentes de luz externas, reflectividad, color y rugosidad.

Existe un número de escáneres activos, diferenciándose todos ellos en la manera en la que el escáner recibe y/o analiza la señal de radiación reflejada.

3.4.2.1. Escáneres pasivos

- **Estereoscopios**

Los sistemas estereoscópicos emplean generalmente dos cámaras de video, levemente separadas, examinando la misma escena. Analizando las diferencias entre las imágenes capturadas por cada cámara, es posible determinar la distancia de cada punto en las imágenes. Este método se basa en la visión estereoscópica humana.



Ilustración 34. Estereoscopio

- **Silueta**

Este tipo de escáneres 3D usan bosquejos creados de una sucesión de fotografías alrededor de un objeto tridimensional contra un fondo muy bien contrastado. Estas siluetas se estiran y se cruzan para formar la aproximación visual hull (es una entidad geométrica creada por la técnica de la forma de la silueta de la reconstrucción 3D) del objeto. Esta clase de técnicas no son capaces de detectar algunas concavidades de un objeto (como el interior de un tazón).

3.4.2.2. Escáneres activos

- **Medición basada en triangulación**

En la práctica, el método de triangulación activa fue inventado para solucionar el notable problema de correspondencia encontrado en las técnicas de medición pasiva. El problema de correspondencia se puede establecer de la siguiente manera: dadas dos imágenes, I_1 e I_2 , de una escena tomada desde dos puntos de vista, la orientación relativa de las cámaras y un par de puntos homólogos entre las dos imágenes, se puede calcular el correspondiente punto en 3D usando el principio de triangulación. De este modo, el problema de correspondencia consiste en encontrar pares de puntos homólogos en diferentes imágenes. El método de triangulación activa usa la luz del láser para solucionar este problema marcando el punto del objeto con el color de la luz del láser. De este modo, el haz puede ser detectado fácilmente en la imagen. Por ello estos escáneres suelen denominarse como de triangulación óptica.

Los triángulos son la base de muchas técnicas de medición. Se utilizaron en mediciones geodésicas básicas en la Grecia antigua y todavía pueden encontrarse en las modernas cámaras 3D basadas en láser. Los fundamentos matemáticos del triángulo (trigonometría), que son la base de las técnicas de medición por triangulación, han sido atribuidos al filósofo griego Thales (siglo VI A.C.):

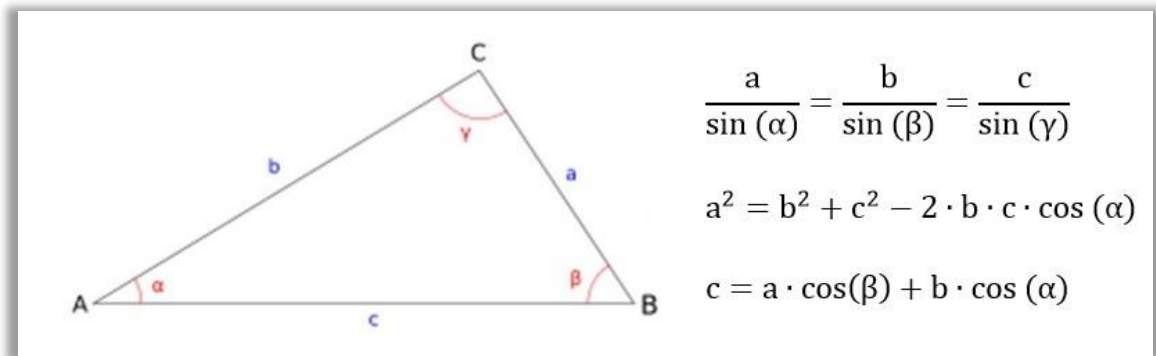


Ilustración 35. Fundamentos matemáticos de la triangulación

Un escáner láser por triangulación utiliza este mismo principio para investigar el entorno. Se dirige un patrón láser sobre el objeto y se emplea una cámara para buscar la localización de la proyección del mismo. El emisor láser y la cámara se instalan con un ángulo constante, creando un triángulo entre ellos y la proyección del láser sobre el objeto. De ahí, el nombre de triangulación. Debido a esta configuración, la proyección del láser cambia el campo de visión de la cámara en función de la distancia a la cámara.

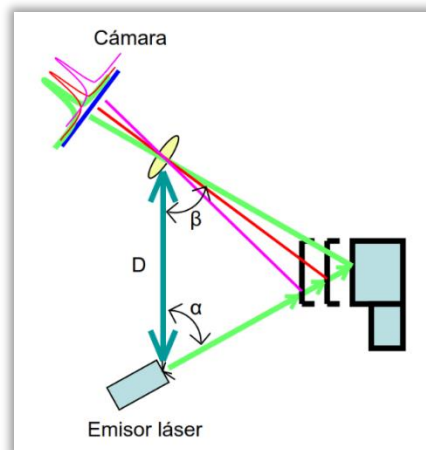


Ilustración 36. Esquema de un láser escáner

Se observa que el lado D del triángulo es conocido, es decir, la distancia entre la cámara y el emisor láser. El ángulo del emisor láser α , también es conocido. En ángulo de la cámara β puede ser determinado encontrando la localización del haz láser en el campo de visión de la cámara. Estos tres elementos determinan completamente la forma y el tamaño del triángulo y proporcionan la profundidad exacta del objeto medido.

Se puede demostrar que, cuanto mayor es el lado D (base), menor es el error en la estimación de la profundidad del objeto. Sin embargo, la base no puede ser muy grande porque entonces el emisor láser y la cámara tendrían un solape en el campo de visión muy reducido y la proyección del láser no siempre podría ser capturada por la cámara.

A modo de resumen, las posibles maneras para reducir la imprecisión en la dirección de la profundidad son:

- La reducción de la distancia del objeto al escáner reduce los efectos de las sombras.
- El incremento de la base de triangulación (D) aumenta los efectos de las sombras.
- El incremento de la distancia focal de la lente disminuye el campo de visión.
- La reducción de la imprecisión de la medición se puede obtener aumentando los píxeles de la cámara.

En la mayoría de los casos se usa y arrastra una línea de láser, en lugar de un único punto, para obtener un objeto completo en 3D. Esto significa que el ángulo del emisor láser también cambia mientras se barre el objeto.

A causa de las limitaciones físicas de usar una base mayor y un campo de visión limitado en la cámara, los escáneres por triangulación se usan en aplicaciones que generalmente requieren una distancia de uso menor de 10 metros. Comparados con los escáneres de medio y largo alcance, los escáneres por triangulación alcanzan precisiones muy elevadas, del orden de micras.

Como se ha comentado anteriormente, el método de triangulación activa usa la luz del láser para solucionar el problema de identificación en la imagen, marcando el punto del objeto con el color de la luz del láser y, de este modo, el haz puede ser detectado fácilmente en la imagen. Para evitar el uso de fixturas, se han impuesto algunas modificaciones innovadoras. En lugar de mover/rotar el emisor láser para cubrir todo el objeto, se pueden proyectar patrones de puntos o líneas que cubran todo el objeto a la vez.

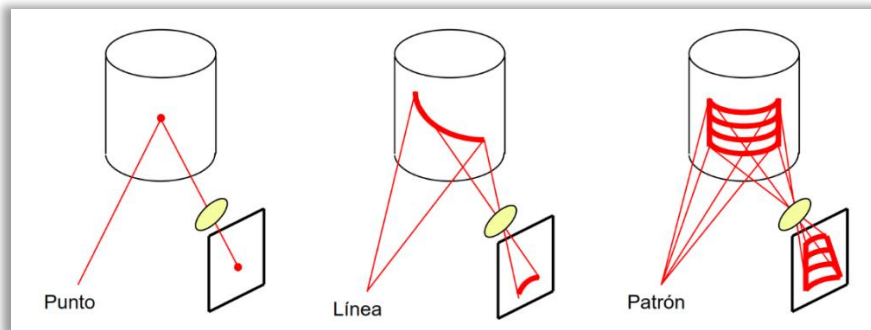


Ilustración 37. Tipos de marcas láser para reconocimiento de puntos homólogos

Hasta el momento se han utilizado diferentes patrones que van desde líneas regulares hasta patrones espacialmente codificados que modulan su frecuencia o su fase en el tiempo para proporcionar una mejor precisión. En el último caso se requiere que el escáner esté estático en relación con el objeto.

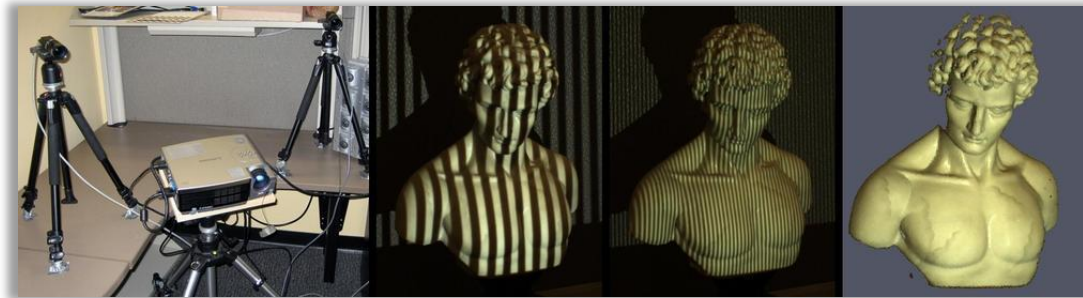


Ilustración 38. Proyección de un patrón de luz para escaneado 3D

Incluso se utilizan patrones más complejos basados en el efecto Moiré para aumentar la precisión y robustez de estos sistemas. El efecto Moiré se produce como resultado de interactuar juntas dos señales con amplitud modulada. Este fenómeno se puede observar en la televisión cuando se entrevista a gente que viste alguna prenda de ropa a rayas. Un escáner Moiré proyecta un patrón regular sobre el objeto a escanear mientras que la cámara que toma la escena tiene integrado otro patrón regular. La interferencia de estos dos patrones genera un patrón Moiré a partir del cual se pueden determinar cambios precisos de profundidad.

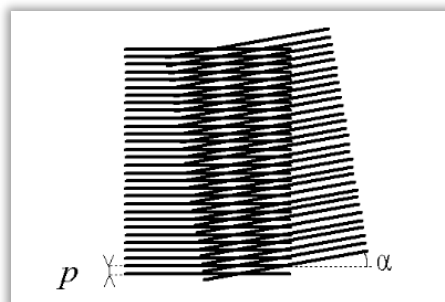


Ilustración 39. Patrón Moiré con elementos lineales

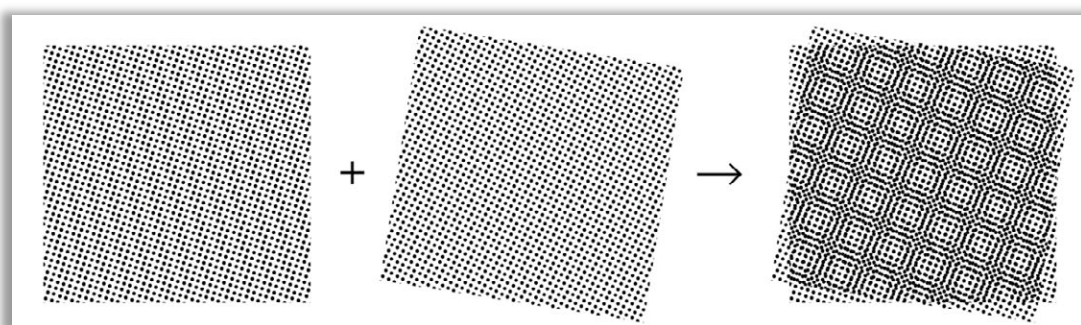


Ilustración 40. Patrón Moiré con elementos puntuales

Como último apunte sobre los escáneres por triangulación, el principal reto al usar sistemas de proyección de patrones de líneas codificadas es la separación única de las diferentes direcciones de proyección en objetos que tienen saltos repentinos en profundidad y grandes diferencias de textura a lo largo de la superficie.

- **Medición basada en tiempo**

Los escáneres de medición basados en tiempo son escáneres activos que miden un intervalo de tiempo entre dos sucesos. En general, hay dos principios de medición por tiempo: escáneres basados en pulsos (tiempo de vuelo) y basados en fase. También veremos brevemente los basados en interferometría.

- ♦ Escáneres basados en pulsos (tiempo de vuelo, detección incoherente):

Las ondas de luz viajan con una velocidad finita y constante a través de un medio. Por consiguiente, cuando puede medirse el tiempo durante el cual la luz viaja de una fuente a un objeto reflectante y regresa a la fuente, la distancia a dicha superficie puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$D = \frac{(c \cdot t)}{2}$$

Donde:

- ♦ c = velocidad de la luz en el aire.
- ♦ t = tiempo que tarda la señal en ir y volver.

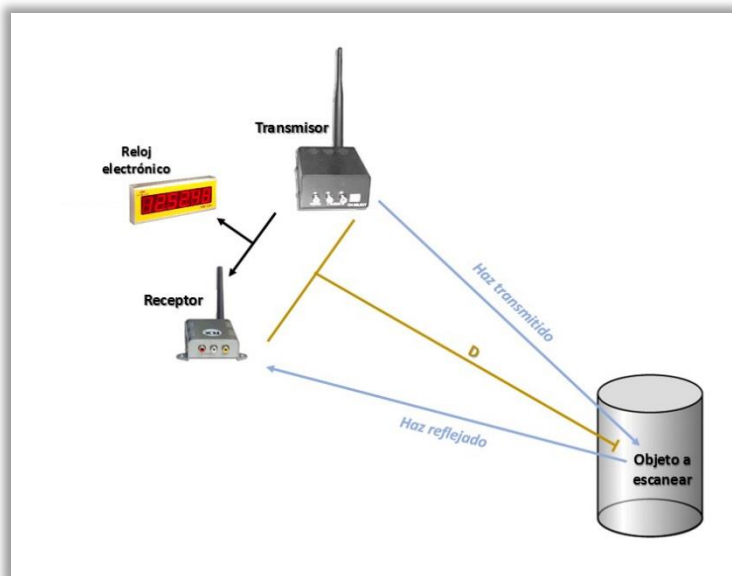


Ilustración 41. Esquema de un láser escáner de tiempo de vuelo

El valor actual de la velocidad de la luz en el vacío es exactamente 299.792.458 m/s. Si la luz viaja por el aire, se debe aplicar un factor de corrección igual al índice de refracción (en función de la densidad del aire). Tomando el valor de la velocidad de la luz en el aire como 3,108 km/s aproximadamente se puede obtener que tarda 3.33 nanosegundos en recorrer un metro. Por tanto, para alcanzar una precisión de 1mm, necesitamos ser capaces de medir intervalos de tiempo de alrededor de 3.33 picosegundos.



Los escáneres por tiempo de vuelo no suelen usar haces continuos, sino pulsos de láser. Escanean todo su campo de visión punto a punto cambiando la dirección del haz mediante una unidad de desviación. Un láser escáner 3D típico basado en tiempo de vuelo puede medir de 2.000 a 50.000 puntos por segundo.

Hay que destacar que para que no se produzcan mediciones ambiguas, el tiempo medido (t) debe ser mayor que la amplitud del pulso (T_{pulso}). De esta manera:

$$t > T_{\text{pulso}}$$

$$d > \frac{1}{2} c \cdot T_{\text{pulso}}$$

Para entender mejor estas ecuaciones, podemos utilizar valores. Tomando T_{pulso} como 10ps, la máxima precisión que se puede alcanzar es de $d = 1.5\text{mm}$. La mayoría de los sistemas comerciales de medio y largo alcance proporcionan una precisión entre 6 y 10mm. Como la precisión depende del mecanismo del reloj, el error de un escáner por tiempo de vuelo es casi independiente de la distancia (excepto en el caso de los láseres de huella).

Es importante destacar que el método derivado del tiempo para medir el retorno del pulso depende de la resolución temporal deseada, de la resolución del reloj y del rango dinámico requerido del pulso. Normalmente, algunos principios para clasificar el diseño son el tiempo límite (amplitud constante), el tiempo de paso cero (la derivada), el tiempo del primer momento (la integral) y la constante de fracción de tiempo.

En un sistema de tiempo de vuelo, la máxima frecuencia de pulso está determinada por el hecho de que el emisor no puede enviar un pulso hasta que no haya recibido el anterior. La finalidad de esta restricción es evitar la confusión en la llegada de los pulsos, lo que recibe el nombre de máximo rango de certeza. Este parámetro depende de la duración del pulso y de su frecuencia.

Hay tres factores principales que determinan la precisión de un sistema de medida por pulsos:

- La capacidad de seleccionar la misma posición relativa en el pulso emitido y recibido para medir el intervalo de tiempo. Esto está limitado por el ruido, la fluctuación, la fuerza de la señal, la sensibilidad del detector, y la brevedad y la capacidad de reproducción del emisor del pulso.
- La precisión con la que se fija un lapso de tiempo.
- La precisión del instrumental en la medida de los intervalos de tiempo.

La ventaja de usar un sistema de pulsos para las mediciones láser de distancia es la alta concentración de la energía transmitida. Esta energía hace posible que se alcance el ratio señal-ruido (SNR) necesario para altas precisiones en mediciones de larga distancia (hasta varios centenares de metros). El inconveniente es el problema de detectar la llegada exacta de los retornos dispersos del pulso debido a la naturaleza cambiante de las tolerancias ópticas y la atenuación atmosférica.

- *Métodos de desviación del haz en los sistemas de medición basados en tiempo de vuelo*

El haz láser debe ser desviado para ser capaces de medir múltiples puntos desde el mismo punto de vista del escáner. En lugar de hacer rotar al escáner, se utiliza una unidad de desviación. La mayoría de estas unidades hacen uso de un espejo porque es mucho más ligero y se puede rotar con más rapidez y mayor precisión. Existen numerosos métodos para desviar el haz hacia una dirección específica sin tener que mover el escáner. De manera general, se emplean tres métodos para este propósito.

Una opción es usar un espejo oscilante que permite el movimiento del láser a lo largo de una línea (a). Una combinación de dos espejos permite la desviación del haz en dos direcciones. Para aumentar la velocidad de la unidad de desviación y reducir la complejidad de girar un espejo y luego volverlo atrás, se ha logrado un prisma óptico reflectante que rota (b). Este principio necesita sólo una dirección de rotación y, por tanto, es más rápido. Recientemente se ha introducido el uso de la fibra para hacer los sistemas más flexibles (c). Estos sistemas desvían el haz láser a un círculo de fibra óptica mediante un espejo rotatorio. Luego, las fibras ópticas transportan el haz de luz en cualquier dirección requerida. Las ventajas de este sistema son:

- La proporción de pulsos láser no está vinculada con el ángulo de vista.
- Es posible tener un patrón de escaneado muy denso y regular.
- No es necesaria una calibración tras el ajuste de fábrica.
- Es posible un traslado del láser hacia delante o lateral.

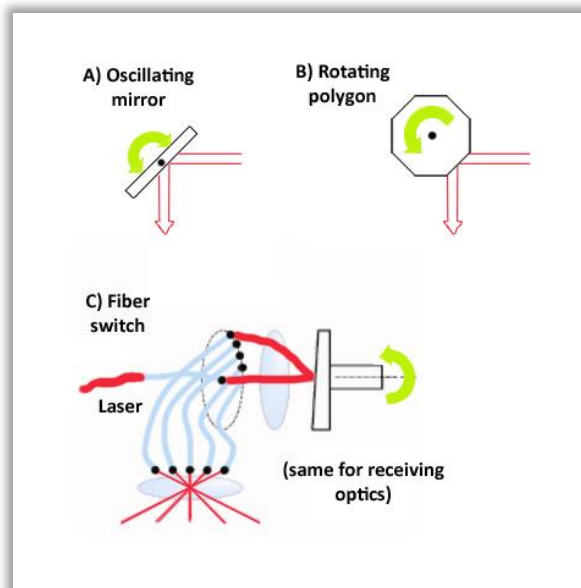


Ilustración 42. Métodos de desviación del haz en los escáneres de tiempo de vuelo

◆ Escáneres basados en la fase

Otro principio de medición basado en tiempo evita el uso de relojes de alta precisión modulando la potencia del haz láser. La luz emitida (incoherente) se modula en amplitud y se envía a una superficie. La reflexión dispersa se captura y un circuito mide la diferencia de fase entre las ondas enviada y recibida, y por tanto el tiempo.

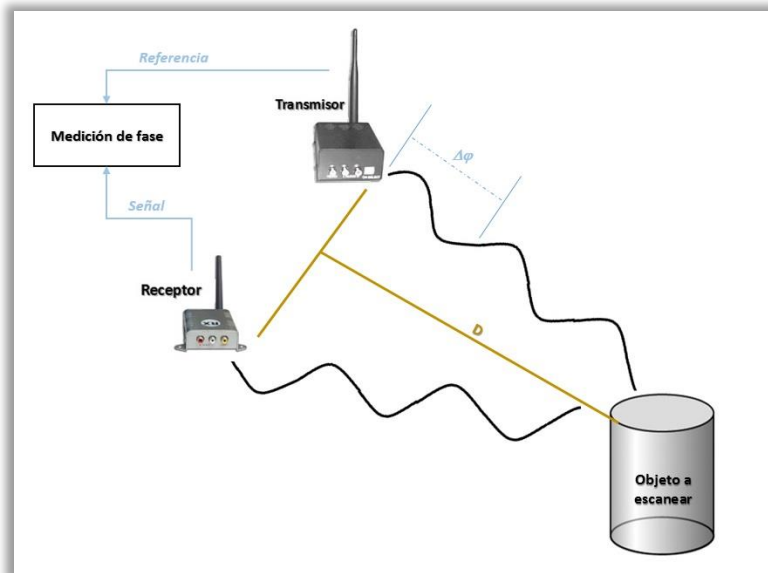


Ilustración 43. Esquema de un láser escáner de fase

Los escáneres basados en la fase típicos modulan su señal utilizando modulaciones sinusoidales, amplitud modulada (AM), frecuencia modulada (FM), pseudoruido o modulación polarizada. En el caso de una señal sinusoidal modulada, la luz reflejada se demodula por medio de cuatro puntos de muestra que son disparados a la onda emitida. A partir de los cuatro puntos medidos $c(\tau_0)$, $c(\tau_1)$, $c(\tau_2)$ y $c(\tau_3)$ el desfase o diferencia de fase $\Delta\phi$, el desplazamiento B y la amplitud A se pueden calcular mediante:

$$B = \frac{c(\tau_0) + c(\tau_1) + c(\tau_2) + c(\tau_3)}{4}$$

$$A = \frac{\sqrt{(c(\tau_0) - c(\tau_2))^2 + (c(\tau_1) - c(\tau_3))^2}}{2}$$

$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{c(\tau_0) - c(\tau_2)}{c(\tau_1) - c(\tau_3)}\right)$$

La diferencia de fase puede estar relacionada con el retardo similar al medido en los escáneres basados en pulsos. La relación entre el desfase ($\Delta\phi$), la frecuencia modulada (f_{modulada}) y el retardo (t) es:

$$t = \frac{\Delta\phi}{2\pi \cdot f_{\text{modulada}}}$$

Por tanto, según la ecuación de medición de distancia basada en el tiempo de vuelo, la distancia al objeto viene dada por:

$$D = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{c}{4\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{f_{\text{modulada}}}$$

De nuevo, tomando valores concretos se puede analizar esta técnica. Con una frecuencia de 10MHz y una resolución de fase de 0.01 grados (no demasiado difícil con estándares electrónicos), podemos obtener una resolución en z alrededor de 0.5mm.

Los escáneres con modulación continua del haz también tienen un máximo rango de certeza, similar al de los sistemas de tiempo de vuelo. Para estos sistemas el alcance está limitado al que corresponde a un retardo de fase de un ciclo de la onda senoidal. La ecuación del máximo rango de certeza en una onda continua es:

$$z_{\text{amb}} = \frac{c}{2 \cdot f_{\text{modulada}}}$$

En el ejemplo anterior, el intervalo está sobre los 15m (frecuencia de 10 MHz). La ambigüedad en la medición de distancia es proporcional a z_{amb} e inversamente proporcional al cociente señal ruido (SNR). Para evitar el inconveniente de un intervalo de ambigüedad en la medición, se pueden utilizar varias frecuencias de manera que con las frecuencias más bajas (mayor longitud de onda) se localiza el punto a medir y con las altas frecuencias se mide la distancia con precisión. En la última generación de escáneres basados en fase, se superponen 2 o incluso 3 longitudes de onda diferentes. La longitud de onda larga define la distancia con unicidad y la longitud de onda corta define la precisión que puede obtenerse. Generalmente, estos escáneres presentan una velocidad mayor y una resolución mejor que los escáneres de tiempo de vuelo, pero una precisión menor.

Generalmente, la precisión de un escáner basado en la fase está limitada por:

- Frecuencia de la señal o modulación.
- Precisión en el ciclo de medición de la fase. Depende de la fuerza de la señal, el ruido...
- Estabilidad del oscilador de modulación.
- Turbulencias en el aire por el que se realiza la medición.
- Variaciones en el índice de refracción del aire.

♦ Interferometría (coherente):

Interferometría significa que se usa la interferencia de diferentes ondas de luz para registrar posiciones tridimensionales en el espacio. La interferometría óptica se utiliza desde el siglo XIX. Las mediciones se restringieron a distancias de pocos centímetros debido a la intensidad limitada y la coherencia de las fuentes de luz convencionales. Estas restricciones se superaron cuando se inventaron los láseres. Los láseres han permitido desarrollar la interferometría y la han convertido en una técnica rápida, de alta precisión y versátil en la medición de largas distancias.

La medición interferométrica de distancias puede ser de muy alta precisión. Ofrece un grado de precisión mayor que los métodos telemétricos basados en el tiempo de vuelo o modulación del haz. Sin embargo, se adecúa perfectamente en entornos con atmósfera controlada (interiores, por ejemplo) con distancias no superiores a decenas de metros.

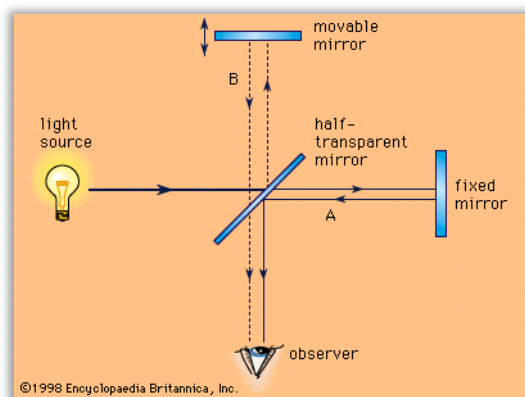


Ilustración 44. Esquema de un interferómetro

En un láser escáner interferométrico, el haz láser se divide usando un prisma que refleja la mitad del haz en una dirección (brazo de referencia) y transmite la otra mitad (brazo de medición). Ambas partes del haz viajan por diferentes caminos y cuando se combinan se producen interferencias fringes. Desplazamientos muy pequeños (del orden de una fracción de longitud de onda) pueden detectarse (usando la detección coherente), y también se pueden medir grandes distancias con baja ambigüedad (contando las longitudes de onda). Se han construido muchos sistemas con este principio, por ejemplo multionda, holografía e interferometría speckle. Estos sistemas consiguen precisiones muy altas a costa de ser muy caros.

○ *Holografía conoscópica*

Es una técnica interferométrica que consiste en hacer pasar un rayo reflejado en una superficie a través de un cristal birrefringente, es decir, un cristal que tiene dos índices de refracción, uno fijo y otro que dependerá del ángulo de incidencia. De esta manera se obtendrán dos rayos paralelos que interferirán con una lente cilíndrica. Esta interferencia será capturada por un sensor CCD y la frecuencia de esta interferencia determinará la posición del objeto. Las ventajas de esta técnica son, la alta precisión que alcanza (mejor que una micra) y el poder utilizar luz no coherente. La fuente de iluminación no tiene por qué ser un láser, la única condición es que sea monocromática.

○ *Luz estructurada*

Este tipo de tecnología utiliza la proyección de un patrón de luz determinado en el objeto y analizan la deformación del patrón para obtener el modelo. El reflejo se captura con una cámara fotográfica y posteriormente mediante unos algoritmos se determina la posición de cada punto en el espacio 3D.

El patrón de luz suele consistir en un conjunto de líneas paralelas generadas bien por interferencia láser o por proyección. Si se realiza mediante la proyección del patrón de luz los escáneres estarían en la categoría descrita en el apartado de escáneres activos de triangulación (triangulación óptica.) En algunos casos de estos equipos de interferencia láser o de proyección óptica, dos cámaras fotográficas situadas a los lados del emisor de luz permiten obtener mejores resultados.

Mediante el análisis de la deformación de las líneas se obtienen los puntos 3D. La anchura de una línea es función de la inclinación de la superficie del objeto en que se refleja. La frecuencia y la fase de la línea también aportan información, que se pueden analizar mediante la transformada de Fourier.

Como con el resto de tecnologías ópticas, este tipo de escáneres tiene problemas con las superficies transparentes y reflexivas puesto que la luz no influye en ellas el mismo reflejo que en las opacas. Una manera de solucionar este problema es aplicando una capa fina de laca opaca a las superficies problemáticas.

La ventaja de los escáneres 3D de luz estructurada es la velocidad. En vez de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o el campo de visión entero inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación por movimiento.

3.4.3. Sistema de barrido

En esta clasificación podemos distinguir escáneres de cámara, híbridos o panorámicos.

- **Cámara**

Este sistema de barrido está limitado a un ancho de escena específico, delimitado por el tamaño de la ventana de barrido, que puede ser de un máximo de 60° tanto en ángulo horizontal como en vertical. Desde el punto de vista óptico, consiste en un espejo interno que incrementa su ángulo horizontalmente para que otro espejo interno realice el barrido desde arriba hacia abajo o viceversa. Se denomina tipo cámara, porque su visibilidad, campo de acción y operatividad, son muy parecidos a los de una cámara de fotogrametría terrestre.

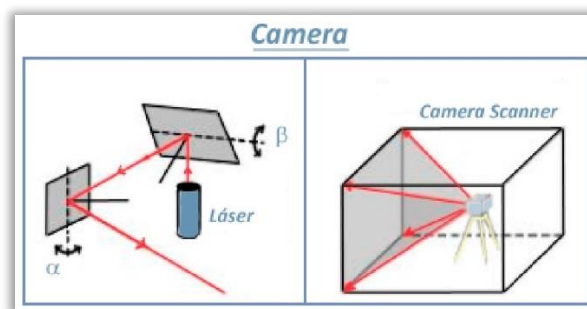


Ilustración 45. Sistemas de barrido: cámara

- **Panorámica**

El sistema de barrido permite girar el haz de luz láser alrededor de dos ejes (horizontal y vertical) de manera similar a un teodolito. Para cada posición se realiza un barrido vertical completo con un espejo rotativo de alta velocidad, permitiendo realizar un barrido total de 360° por 310° . La única zona que queda por barrer es la delimitación por la base del propio instrumento.

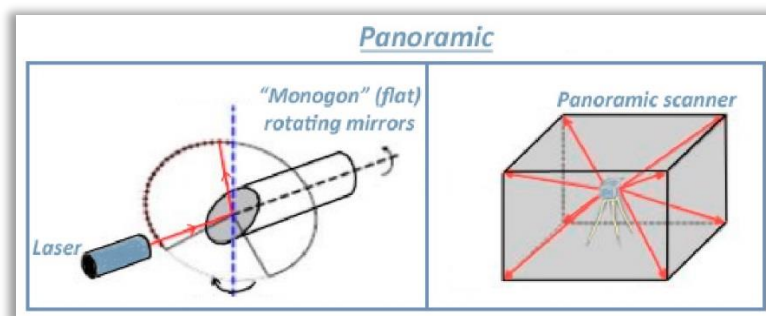


Ilustración 46. Sistemas de barrido: panorámico

- **Híbrido**

Este sistema es una combinación de los dos anteriores. El láser gira pequeños intervalos horizontales, y en cada intervalo el espejo oscilante se mueve desde arriba hacia abajo en forma similar a los del tipo cámara, con algunas limitaciones en el barrido vertical, pudiendo girar 360º y tomar todo lo que tiene alrededor.

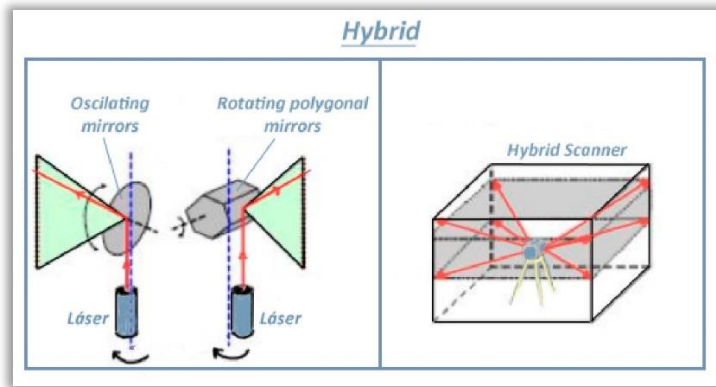


Ilustración 47. Sistemas de barrido: híbrido

3.4.4. Posición

- **Equipos estáticos**

Estos equipos se mantienen en una posición fija durante la toma de datos, generalmente montados sobre trípodes o plataformas estables. El dispositivo, por lo general, se mueve a pequeños incrementos angulares de izquierda a derecha, y entre cada incremento se queda en una posición estática, en la que el espejo giratorio se mueve de abajo hacia arriba y va disparando el láser a intervalos predeterminados. Las ventajas de este tipo de equipos son la precisión y la alta densidad de puntos. El láser escáner estático suele ser el método más extendido para realizar escaneados terrestres.



Ilustración 48. Equipos estáticos

- **Equipos dinámicos**

Dentro de los escáneres terrestres, existe una versión dinámica de los mismos que es básicamente un sistema compuesto por uno o dos escáneres montados sobre el techo de un vehículo. Estos escáneres exploran a derecha e izquierda del vehículo realizando un barrido de 300 m de ancho, con detalles milimétricos de todos los puntos del terreno que va recorriendo. Estos vehículos llevan montados sistemas GNSS (GPS+GLONAS+GALILEO), conjuntamente con una plataforma inercial o IMU, que mantiene la precisión en las coordenadas en los momentos de sombra, es decir, cuando los satélites son insuficientes para mantener el tiempo real RTK en forma dinámica. También existen equipos láser escáner dinámicos para medir específicamente vías y túneles, que van montados sobre carros de medición y consiguen rendimientos muy superiores a los realizados con equipo estático.



Ilustración 49. Equipos dinámicos sobre coche y sobre carro de medición de vías

3.4.5. Aspectos metrológicos: análisis de error

Las compañías que producen escáneres láser publican las precisiones de sus equipos de manera que ilustran las ventajas de su producto en particular. Sin embargo, la experiencia demuestra que algunas veces esto no se debería tomar como valor real y que la precisión de los instrumentos, que se fabrican en series limitadas, varía de un instrumento a otro y depende de la calibración individual y del cuidado que se tenga en su uso.

Cada nube de puntos producida por un escáner láser contiene un considerable número de puntos que presentan errores groseros. Si el producto entregado es una nube de puntos, la precisión no se puede garantizar de la misma manera que con instrumentos topográficos convencionales. Se han publicado muchos artículos sobre tests de precisión con escáneres láser. *i3mainz*, la *University of Applied Sciences* de Mainz y el *Institute of Geodesy and Photogrammetry* del *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, han realizado numerosos trabajos sobre la precisión de los escáneres láser. En ellos, para poder describirlas de manera sistemática, las fuentes de error en el escaneado láser se dividen en cuatro categorías: errores instrumentales, errores relacionados con el objeto, errores por el entorno y errores metodológicos.

- **Errores instrumentales**

Los errores instrumentales pueden ser sistemáticos o aleatorios y se deben al diseño del escáner. Los errores aleatorios afectan principalmente a la precisión de la medida y la localización del ángulo en los sistemas de medición de tiempo de vuelo basados en pulsos. Los errores sistemáticos pueden ser generados por la no linealidad de la unidad de medición del tiempo o por la deriva de temperatura en la electrónica de medición del tiempo provocando deriva en la distancia, entre otros problemas.

♦ Propagación del haz láser

La divergencia del haz es la anchura que alcanza el haz con la distancia recorrida. Tiene una fuerte influencia con la resolución de la nube, así como en la ambigüedad posicional del punto medido. Se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$w(\rho_w) = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda \cdot \rho_w}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2}$$

donde:

- ρ_w = la distancia respecto de la circunferencia del haz.
- w = radio del haz.
- w_0 = radio mínimo del haz (en el punto inicial) = circunferencia del haz.

Se entiende que la reflexión del haz tiene una forma gaussiana. Para largas distancias, la divergencia es aproximadamente lineal y el diámetro del haz se expresa como la posición que engloba el 86% de toda la energía del haz con una distribución de irradiancia gaussiana.

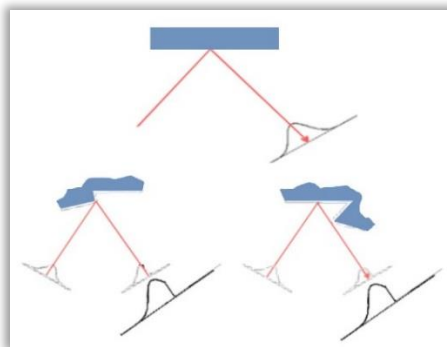


Ilustración 50. Propagación del haz

En la práctica, la divergencia del haz tiene efecto en la localización del punto medido. La aparente localización del punto observado está en la línea central del haz emitido. Sin embargo, la localización real está en algún lugar de la huella del haz proyectada. Según Lichti y Gordon, la ambigüedad del haz es aproximadamente igual a un cuarto del diámetro del haz láser.

♦ Problema del borde partido

Una de las consecuencias más importantes de la divergencia del haz es el problema del borde partido. Cuando un haz láser choca contra un borde de un objeto, el haz se divide en dos. Una parte se refleja en la primera parte del salto del borde mientras que la otra parte va más lejos hasta que alcanza otra superficie. El resultado de ello es que la información de un pulso láser que llega al receptor llega desde dos puntos diferentes en el espacio. Las coordenadas de este punto, en relación con la posición del escáner, se calculan tomando la media de todas las señales recibidas para un mismo pulso y, por tanto, el punto se ubicará en un lugar incorrecto.

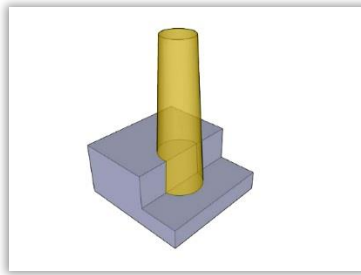


Ilustración 51. Problema del haz láser sobre bordes

Cuando se utiliza un escáner de alta resolución en un objeto, la probabilidad de que el haz dé en un borde aumenta y los datos resultantes mostrarán ruido justo detrás de los bordes del objeto. Los escáneres con una anchura de haz menor ayudan a solucionar este problema, pero el alcance se mantiene mientras la anchura del haz aumenta con la distancia.

♦ Ambigüedad en la distancia

La ambigüedad en la distancia se puede expresar en función de un número de parámetros según el tipo de escáner láser y su principio de funcionamiento. A continuación se resumen las ambigüedades en la distancia tomadas de Beraldin et al.

Para un escáner por triangulación, la ambigüedad en la distancia se puede expresar como:

$$\delta_z \approx \frac{Z^2}{f \cdot D} \delta_p$$

donde:

- f es la posición efectiva de la huella láser (longitud focal efectiva).
- D es la base de la triangulación.
- δ_p es la ambigüedad en la posición láser. Depende del tipo de huella del sensor láser, del algoritmo para detectar picos, la razón señal ruido y la forma de la huella del láser en la imagen.
- Z es la distancia a la superficie.

Para un escáner basado en tiempo de vuelo, la precisión en la distancia depende del mecanismo del reloj. Esto nos lleva a la siguiente ecuación:

$$\delta_z \approx \frac{c \cdot T_t}{2 \cdot \sqrt{\text{SNR}}}$$

donde:

- T_t es el tiempo de lanzamiento del pulso.
- SNR es la razón señal ruido.

La mayoría de los escáneres terrestres de medio y largo alcance proporcionan una ambigüedad en la distancia de entre 5mm y 50mm para una distancia de 50m. En la fase de

modelado, estos errores son minimizados al hacer la media o al ajustar formas primitivas a la nube de puntos.

Los escáneres de onda continua evitan la necesidad de contar con mecanismos de relojes de alta velocidad modulando la señal láser. La ambigüedad en la distancia en los escáneres láser de amplitud modulada depende únicamente de la longitud de onda modulada y de la razón señal ruido. Se puede describir como:

$$\delta_z \approx \frac{\lambda_m}{4\pi \cdot \sqrt{\text{SNR}}}$$

♦ Ambigüedad angular

La mayoría de los escáneres láser utilizan espejos rotatorios para guiar la señal láser hacia una dirección determinada. Una diferencia angular pequeña puede provocar un error considerable en las coordenadas cuando la distancia al escáner aumenta. La precisión angular depende de cualquier error en la posición de los espejos y la precisión en la medición de los ángulos. Como la posición de puntos aislados es difícil de verificar, se conocen pocas investigaciones acerca de este problema. Como se describe en Boehler et al., los errores se pueden detectar midiendo distancias horizontales y verticales cortas entre objetos (por ejemplo, esferas) situados a la misma distancia del escáner y comparando estas mediciones con otras realizadas con métodos topográficos más precisos.

♦ Errores en los ejes de un TLS (escáner láser terrestre)

En el desarrollo de los procesos de calibración de un escáner láser, se necesita un modelo geométrico del escáner. Por lo tanto, definimos los siguientes ejes:

- Eje vertical: Es el eje que permite al escáner mover el haz láser de forma horizontal. Dependiendo del tipo de escáner, panorámico o escáner de cámara, éste es el eje de rotación de la cabeza del escáner o el eje ortogonal a los ejes de oscilación de los espejos.
- Eje de colimación: Es el eje que pasa por el centro del espejo de escaneado y el centro de la huella del láser sobre la superficie del objeto escaneado.
- Eje horizontal: Es el eje de rotación del espejo de escaneado.

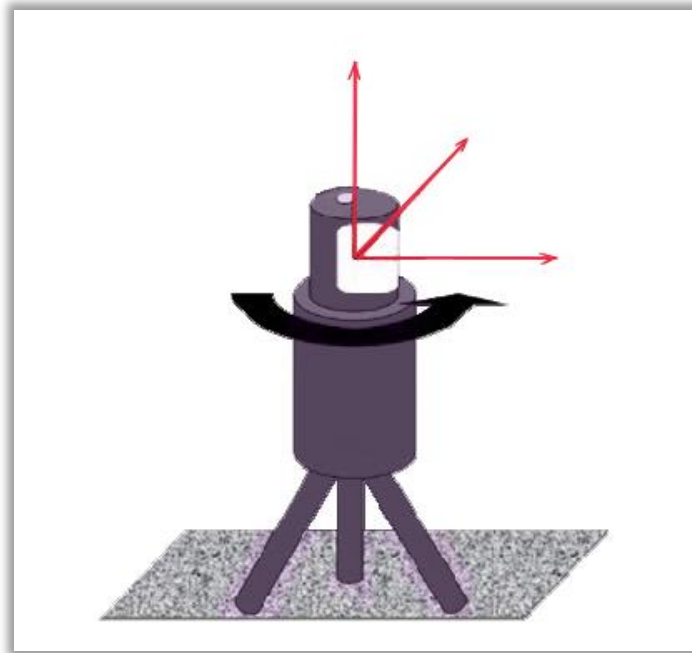


Ilustración 52. Ejes del láser escáner

Debido a las tolerancias en la fabricación, estos ejes no están alineados perfectamente, lo que nos lleva a un error en la colimación y a un error en el eje horizontal.

- **Errores relacionados con los objetos**

Como los escáneres miden la reflexión del haz láser sobre la superficie, debemos tratar con las leyes físicas de la reflexión y las propiedades ópticas de los materiales. La reflexión de luz monocromática normalmente muestra rayos reflejados en muchas direcciones. Este tipo de reflexión isotrópica (difusa) se puede describir mediante la ley del coseno de Lambert:

$$I_{\text{reflejada}}(\lambda) = I_i(\lambda) \cdot k_d(\lambda) \cdot \cos(\theta)$$

con:

- $I_i(\lambda)$ la intensidad de la luz incidente como función de una longitud de onda (color, es absorbida cuando viaja por el aire).
- $k_d(\lambda)$ el coeficiente de reflexión difusa que también es función de la longitud de onda.
- θ el ángulo entre la luz incidente y el vector normal a la superficie.



Ilustración 53. Reflexión sobre una superficie lambertiana

Esta fórmula nos muestra que el haz láser está afectado por la absorción de la señal que viaja por el aire, la reflexión del material sobre el que se mide y el ángulo de incidencia entre el haz láser y la superficie medida. Esto significa que para superficies muy oscuras (negras) que absorben la mayor parte del espectro, la señal reflejada será muy débil, por lo que la precisión del punto estará afectada por el ruido. Superficies con alta reflectividad (superficies brillantes, por ejemplo) dan unas mediciones más fiables y precisas. Sin embargo, si la reflectividad del objeto es demasiado alta (superficies metálicas, cintas reflectantes...) el haz láser es desviado totalmente y dará en otras superficies o se propagará por el aire libre. Esta desviación provoca que el punto medido no sea el punto al que apunta el láser, sino otro o ninguno. Este tipo de ruido se le denomina ruido *speckle*.

El registro de superficies con reflectividad diferente también ocasiona errores sistemáticos en la distancia, algunas veces incluso de varias veces la desviación estándar de una simple medición.

Al igual que las propiedades de reflexión de la superficie, las propiedades del color también afectan a la precisión. En Clark et al. han visto que existen discrepancias sistemáticas significativas en la distancia que, en términos generales, se pueden relacionar con el color de cada superficie en relación a la longitud de onda del láser utilizado.

Aparte de los efectos de reflectividad, numerosos materiales presentan una capa semitransparente que permite pasar el haz láser refractándose y reflejándose en el propio material, como por ejemplo, la madera, el mármol y el poliestireno expandible. Estos efectos nos conducen a añadir una constante en las mediciones de la distancia que debe ser considerada en su cálculo.

- **Condiciones ambientales**

- ♦ Temperatura

Se destaca que la temperatura dentro del escáner puede ser bastante más alta que la temperatura de la atmósfera alrededor del equipo debido al calor interno o al calor resultante de la radiación externa (por ejemplo, el sol). Esta fuente de radiación externa podría calentar un lado del trípode o del escáner, provocando que ese lado se dilate, distorsionando lentamente los datos tomados con el escáner.

No sólo la temperatura del equipo es importante, sino también la temperatura de la superficie escaneada. Cuando se escanea algo a alta temperatura, por ejemplo en un entorno industrial, la radiación causada por las superficies calientes de fondo reduce la razón señal ruido y, por tanto, la precisión de las mediciones.

- ♦ Atmósfera

Los escáneres láser solo funcionan adecuadamente cuando se utilizan dentro de un cierto rango de temperatura. Incluso dentro de este rango se pueden observar desviaciones en las distancias.

Como en todas las operaciones de medición de distancias, los errores naturales provienen principalmente de las variaciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad, lo que afecta al índice de refracción y modifica la longitud de onda electromagnética. Esto significa que la velocidad de la luz del láser depende en gran medida de la densidad del aire.



La mayoría del software de escaneo láser proporciona una corrección del índice de refracción al establecer un parámetro de refracción. Generalmente, los escáneres están preparados para usar los parámetros atmosféricos del estándar ISO (15°C; 1013,25hPa). Cuando se trabaja bajo diferentes condiciones atmosféricas, estos parámetros se deben adaptar. Una diferencia de temperatura de 10°C o de una presión de 35hPa produce un error en la distancia de 1mm/100m.

Cuando se trabaja en aplicaciones terrestres, este efecto no debería afectar seriamente a los resultados para cortas y medias distancias. Para distancias largas o mediciones de alta precisión es obligatorio aplicar los parámetros de corrección atmosférica.

Trabajando, por ejemplo, en una región montañosa, el descenso de temperatura se puede estimar en 0.65°C/100m y el descenso de presión en 10hPa/100m. Para un escáner estacionado a una altitud de 2000m, el error en la distancia vendría a ser de unos 8mm/100m.

♦ Interferometría de radiación

Como los escáneres láser trabajan en una banda de frecuencia muy estrecha, la precisión en la distancia puede estar influenciada por una radiación externa, como por ejemplo las fuentes fuertes de iluminación externa. Se pueden aplicar filtros especiales de interferencia óptica para permitir que sólo las frecuencias correctas alcancen el receptor.

♦ Distorsión por movimiento

La mayoría de los escáneres láser escanean a una velocidad de 2.000-500.000 puntos por segundo. Aunque son muy rápidos, escanear a alta resolución puede llevar entre 20 y 30 minutos en el caso de los escáneres basados en el tiempo de vuelo y sobre 10 minutos en los escáneres basados en la fase. Durante este tiempo el escáner es susceptible de vibraciones a su alrededor que produzcan movimientos. Esto es lo que llamamos distorsión por movimiento.

Como cada punto se toma en un tiempo diferente, cualquier movimiento distorsionará los datos tomados. Por tanto, el escáner necesita estar montado en una plataforma estable para minimizar las vibraciones. El objeto escaneado debe permanecer estático también.

Hay que tener en cuenta que el escáner también se mueve por cambios en la temperatura. Por ejemplo, si el sol da por un lado del escáner, las patas del trípode de ese lado se podrán expandir y distorsionar lentamente los datos escaneados. Los últimos escáneres láser, también llamados estaciones láser, incorporan un compensador de eje dual integrado que compensa cualquier movimiento del escáner durante el proceso de escaneo.

- **Errores metodológicos**

Los errores metodológicos se deben al método topográfico elegido o a la experiencia de los usuarios con esta tecnología. Por ejemplo, si el usuario establece una densidad de malla (resolución) más alta que la precisión por punto del escáner, el escaneado estará sobremuestreado. Entonces, se genera mucho ruido extra y los tiempos de procesamiento se incrementarán de manera considerable. Otra causa de error puede ser una incorrecta elección del escáner. Tomando un escáner con un alcance máximo próximo a la distancia máxima a la que se encuentra el objeto escaneado, los escaneados contendrán mediciones menos precisas y un posible ruido.

Los posibles errores generados durante la fase de registro o consolidación también se encuentran en esta categoría. Dependiendo de la técnica empleada para registrar las diferentes nubes de puntos, se introducen errores. Estos errores ocurren tanto con el método indirecto de registro/georreferenciación como con el método directo de registro/georreferenciación.

3.5. EQUIPO LÁSER ESCÁNER

3.5.1. Escaneado láser

Un equipo láser escáner consta de dos componentes básicos: un dispositivo de medida de distancias y un mecanismo de barrido (que es un sistema motorizado de espejos que desvía el láser en las direcciones vertical y horizontal). Esta tecnología láser escáner es capaz de medir distancias de una gran cantidad de puntos y ángulos, además del valor de la reflectancia de las distintas superficies impactadas por el láser. Con los valores angulares y las distancias se podrán calcular las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de cada uno de los puntos medidos.

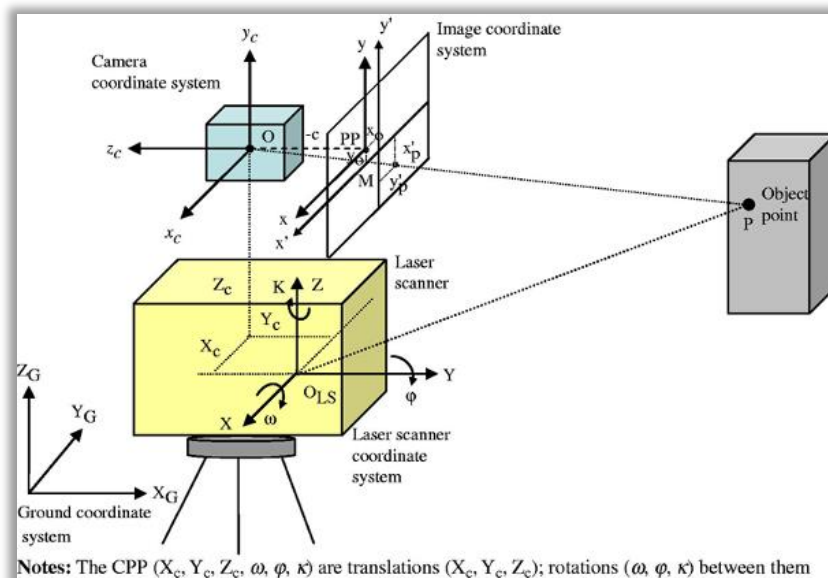


Ilustración 54. Esquema de un equipo láser escáner



El escaneado láser describe el método mediante el cual una superficie se muestrea o se escanea usando tecnología láser. Se analiza un entorno u objeto real para tomar datos sobre su forma y, posiblemente, su apariencia (por ejemplo el color). Los datos capturados pueden ser usados más tarde para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales útiles en una gran variedad de aplicaciones.

Mediante el escaneado láser obtenemos una nube de puntos, que será procesada mediante un software para poder generar el modelo tridimensional del objeto escaneado.

La ventaja del escaneado láser es el hecho de que puede tomar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un periodo de tiempo relativamente corto. Es como tomar una fotografía con información de profundidad. Y al igual que en el caso de la fotografía, los escáneres láser son instrumentos de línea de vista. Por tanto, es necesario realizar múltiples capturas desde diferentes estaciones para garantizar una cobertura completa de una estructura.

Los escáneres 3D son distintos a las cámaras fotográficas, ya que estas últimas reúnen información del color sobre la superficie mientras que los escáneres 3D reúnen información acerca de su geometría, es decir, que obtienen la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado.

El escaneado láser, en algunas ocasiones, precisa de la estación total o de la tecnología GNSS para georreferenciar los modelos y realizar el control de calidad pertinente.

3.5.2. Equipamiento

Son muchas las funcionalidades y los sensores que actualmente se integran sobre el mismo equipo. El desarrollo de la tecnología aporta muchas mejoras entre las que destacan:

- Tamaño: cada vez se logra crear equipos más pequeños sin restar funcionalidades. Es una mejora imprescindible, ya que equipos más antiguos llegaban a medir hasta 70cm en alguna de sus tres dimensiones. Los actuales no miden más de 25cm.
- Peso: al igual que con el tamaño, cada vez se construyen equipos más ligeros sin afectar a la calidad, pasando de hasta 15kg que pesaban hace unos años, hasta 5kg que llegan a pesar actualmente.
- Cámara digital integrada: en los nuevos modelos, la cámara digital viene incorporada en el equipo, reduciendo así el volumen total del equipo y el número de bultos a manipular. Por otro lado, la definición de imagen también aumenta, llegando hasta 70 megapíxeles en las cámaras actuales, lo que proporciona más precisión al equipo.
- Baterías de alto rendimiento: cada vez son más pequeñas y tienen una mayor duración, lo que permite más autonomía para trabajar con estos equipos.
- Almacenamiento de datos: las tarjetas son cada vez más pequeñas pero de mayor capacidad, y permiten una gestión de los datos casi sin límites.
- Pantalla táctil: hace más fácil e intuitivo el manejo del equipo, y evita el uso de grandes teclados.
- GPS integrado: para dotar de posicionamiento absoluto al punto de estación del escaneado.

- Brújula digital: hace que el proceso de registro automático sea más sencillo y brinda orientación al escaneo.
- Sensor de altura: da información sobre la altura a la que se encuentra el equipo a través de un barómetro electrónico. Muy útil para mediciones a distinto nivel.
- Compensador de dos ejes: proporciona precisión a la nivelación del equipo.
- WLAN (Wifi): Permite la gestión en remoto del equipo y sus datos.
- Telescopio integrado: para alineamientos en Topografía.

3.5.3. Especificaciones técnicas

Éste es uno de los puntos más importantes a la hora de planificar un trabajo con equipos láser escáner. Las especificaciones técnicas nos van a permitir saber a priori cuál va a ser la calidad de los datos si trabajamos con el equipo correspondiente. Sabiendo esto, debemos elegir el equipo que mejor se adapte al proyecto que se pretende realizar.

En el documento de especificaciones técnicas encontraremos todas aquellas que afecten al rendimiento y al hardware del equipo. A continuación se muestran unos valores aproximados de las características más importantes de los equipos disponibles actualmente:

- Rango de medida: de 0,6 a 2000m. Se clasifican en equipos de corto, medio y largo alcance.
- Velocidad de medición: de 8.800 a 976.000 puntos por segundo, dependiendo del equipo y de las condiciones del proyecto.
- Error en distancia: de 0,6 a 8mm. Este valor depende sobre todo del rango de medida.
- Resolución: de hasta 70 megapíxeles en la mayoría de los equipos actuales.
- Campo visual: de 80 a 305° en vertical y 360° en horizontal, según el equipo utilizado.
- Divergencia del haz: de 0,16 a 0,25mrad.
- Capacidad de almacenamiento: de hasta 32Gb en la mayoría de los equipos actuales.
- Duración de la batería: de 2,5 a 5 horas de autonomía según el equipo utilizado.
- Temperatura ambiente: de 0 a 50°C en condiciones normales. Generalmente soportan temperaturas más extremas, pero deben ser ocasiones excepcionales y con tiempos de medición muy reducidos.



3.5.4. Accesorios

Como complemento a los equipos, tenemos una amplia gama de accesorios que permiten ciertas funcionalidades concretas. Algunos de ellos son básicos y otros lo son menos, pero todos ellos cumplen un objetivo específico. Los accesorios más comunes son:

- Estuche de transporte: protege al equipo y a otros accesorios en un único bulto para facilitar su transporte y almacenamiento.
- Trípode: el equipo se coloca anclado sobre él, y permite posicionarlo en altura sobre el punto de estación. La modificación de la longitud de las patas proporciona una primera nivelación aproximada.
- Base nivelante: se coloca anclada bajo el equipo y permite dar más precisión a la nivelación tras aproximarse con las patas del trípode.
- Baterías: proporcionan la energía con la que trabaja el equipo.
- Cargador para batería: permiten cargar la batería si ésta se acaba.
- Cable para datos: se conecta al equipo por un extremo y a un ordenador por el otro. Permite la gestión de los datos.
- Cinta de medición: permite medir la altura a la que se encuentra el centro del sistema sobre el punto de estación.
- Señales de puntería: sirven como puntos de control de la geometría y mejoran la recepción de la señal con superficies reflectantes.
- Soporte: la empresa que vende el equipo proporciona soporte informático, asistencia técnica y garantía.
- Adaptador para montaje inverso.

3.6. APLICACIONES DEL ESCANEADO LÁSER

En un principio, los escáneres láser eran de corto alcance y se utilizaban principalmente en el diseño automatizado e industrial para facilitar el Diseño Asistido por Ordenador (CAD). Esto contribuyó a la producción en masa de productos de consumo.

Sin embargo se ha ido aplicando a otros campos como consecuencia de la constante evolución tecnológica que se está produciendo. Los escáneres láser de medio alcance fueron desarrollados para la industria petroquímica. Debido a la complejidad de sus plantas, que sólo estaban documentadas con planos en dos dimensiones, la aparición de los escáneres láser permitió la gestión completa de las instalaciones en tres dimensiones.

Otras disciplinas como el patrimonio cultural, la arquitectura, el desarrollo urbanístico, la medicina forense y la industria del entretenimiento han adoptado esta tecnología gracias a las ventajas del láser escáner: la inexistencia de contacto en las mediciones, la alta precisión, el largo alcance, la rápida adquisición, etc.

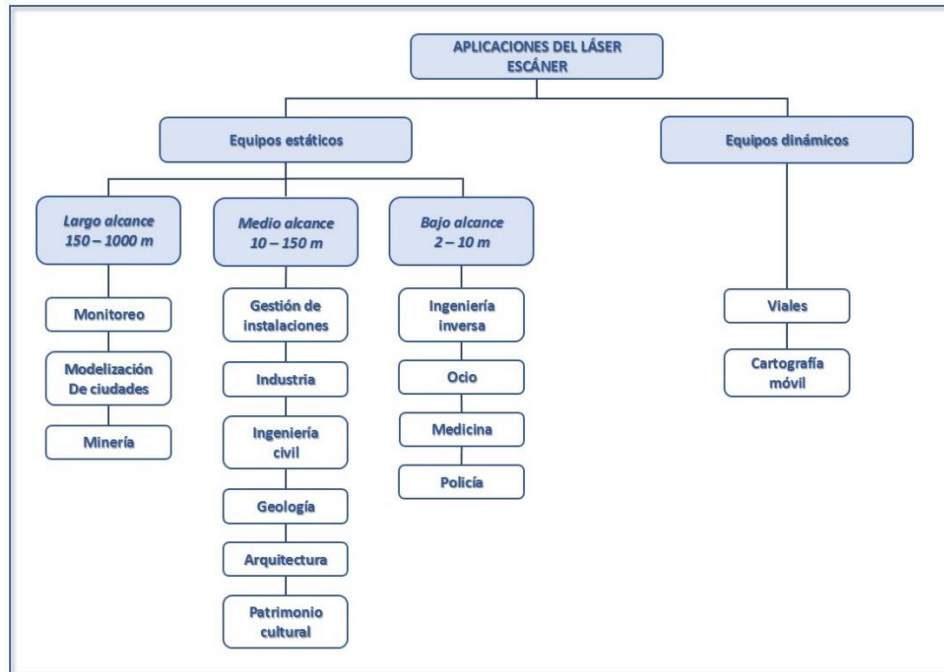


Ilustración 55. Aplicaciones del láser escáner terrestre

- **Topografía**

La tecnología láser escáner se utiliza dentro del campo de la topografía agilizando el proceso de recogida de datos. Por ejemplo, el equipo láser escáner se puede utilizar en los denominados levantamientos topográficos de alta definición, que consisten en una captura de información rápida, detallada y precisa de una superficie o volumen. El equipo láser escáner realiza un barrido de la superficie captando miles de puntos por segundo y obteniendo una nube de puntos 3D compuesta por cientos de miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z) que componen un modelo tridimensional de los objetos registrados.



Ilustración 56. Equipo láser escáner en Topografía

- **Geología y Minería**

El escaneado láser de afloramientos geológicos es una poderosa herramienta para recoger información relacionada con la geometría de superficies complejas, de manera que se puede matematizar y analizar rigurosamente la geometría de algunas superficies que han sido deformadas por procesos geológicos en las rocas. También permite obtener información de calidad de lugares inaccesibles como un acantilado.



Ilustración 57. Láser escáner en Geología y Minería

Dentro de la minería también se suele utilizar el láser escáner en los siguientes casos:

- Topografía de explotaciones a cielo abierto.
- Topografía de explotaciones en interior. Cámaras y pilares, grandes huecos.
- Cubicaciones de volúmenes de material, en avance de excavación y en stocks y acopios irregulares.
- Topografía de zonas inestables, deslizadas y con taludes. Zonas problemáticas y de acceso difícil.
- Topografía para su actualización del avance de los frentes y cubicación periódica de explotaciones.
- Simulaciones virtuales para zonas restauradas en estudios de impacto.
- Espacios subterráneos mineros para depósitos de residuos.

- **Patrimonio cultural**

Esta tecnología es ideal para la documentación de edificaciones, monumentos y lugares históricos con detalle y gran precisión, generando nubes de puntos de 360º de las superficies escaneadas para crear modelos 3D que se emplean posteriormente en la restauración o en planes de conservación histórica. Características como la medición sin contacto y la nula alteración del objeto analizado hace que en determinadas ocasiones esta tecnología sea la única alternativa posible.

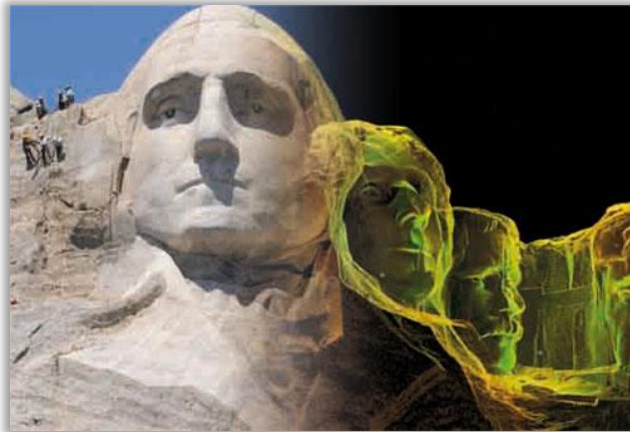


Ilustración 58. Equipo láser escáner en patrimonio cultural

- **Obras civiles e infraestructuras**

Los equipos láser escáner se utilizan dentro de este ámbito para:

- Topografía de avances de obra, control de calidad y mediciones en las certificaciones.
- Cartografía y modelización de obras e infraestructuras.
- Control de la geometría en la excavación de túneles y cubicación de los volúmenes de relleno de hormigón.
- Control de geometría y deformaciones en obras e infraestructuras.
- Topografía de vertederos y actualización periódica de cubicaciones.

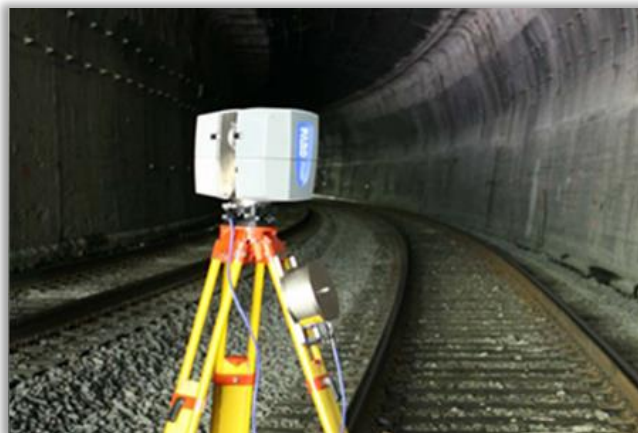


Ilustración 59. Equipo láser escáner en obras civiles

- **Plantas industriales**

El escaneado láser permite obtener modelos tridimensionales muy precisos de estructuras y componentes de instalaciones industriales.

Los modelos “as built” representan el estado real de la instalación en el momento de estudio por lo que resultan muy útiles para la planificación de trabajos, la formación de personal y la simulación de maniobras, especialmente en zonas de difícil acceso o en condiciones ambientales severas. Los modelos pueden exportarse a programas de diseño tipo CAD o bien a archivos con formato *.pdt .

Gracias al trabajo de topografía previo se pueden referir todos los elementos escaneados a un sistema de coordenadas común e integrado. De esta forma, se obtienen visualizadores panorámicos en entornos web que permiten moverse en el entorno real de la planta, identificar componentes, obtener coordenadas, medir distancias en tres dimensiones e identificar interferencias sin necesidad de estar físicamente en la zona de trabajo.



Ilustración 60. Equipo láser escáner en industrias

- **Prevención de incendios**

La tecnología láser escáner puede ser una herramienta muy importante en la prevención de incendios. Se realiza el escaneado de un escenario donde se ha producido un incendio obteniendo la nube de puntos 3D y posteriormente se traslada a un programa de simulación de incendios para poder investigar su comportamiento (la transferencia de calor por radiación y convección, la pirolisis de la combustión de un material, el crecimiento del incendio, y la propagación de las llamas).

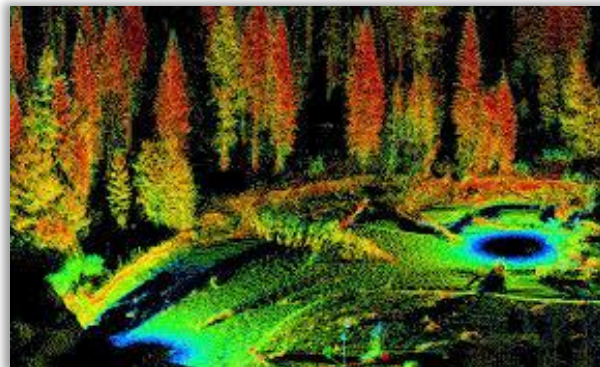


Ilustración 61. Tecnología láser escáner en incendios forestales

- **Medición de volúmenes en canteras**

La medición de volúmenes en canteras es un problema que tradicionalmente ha sido abordado mediante topografía tradicional; es una labor de elevado coste que debe realizarse inevitablemente con continuidad a lo largo de la explotación.

La aparición del equipo láser escáner ha significado la posibilidad de realizar estas mediciones con una rapidez antes inalcanzable, y sobre todo, con una precisión incomparablemente más alta que la proporcionada por los medios topográficos clásicos.

La utilización de nubes de puntos para el estudio de taludes, o derribos provocados por la explotación de este tipo de recintos, ofrece la posibilidad de una recreación tridimensional, con precisión centimétrica, de la que podremos extraer tanto volúmenes como secciones en cualquier dirección del espacio para su posterior uso mediante programas de topografía.

El uso de escáner laser tridimensional multiplica los puntos monitorizados, de forma que en lugar de basar el cálculo de volumen en unos pocos miles de puntos se pasa a hacerlo en varias decenas de millones dependiendo de la extensión del recinto, llegándose sin dificultad a precisiones en el cómputo superiores al 95%.

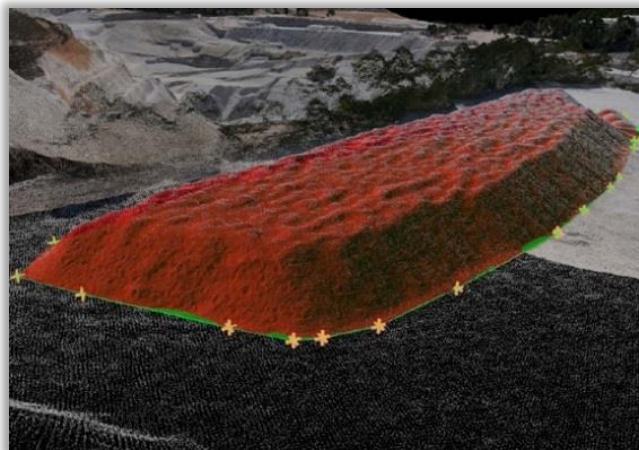


Ilustración 62. Tecnología láser escáner en medición de volúmenes

- **Temblores y terremotos**

Con el fin de restablecer lo más rápido posible los daños provocados en las infraestructuras ferroviarias, carreteras y edificios, el escaneo láser 3D se impone como la herramienta de análisis más rápida y eficaz. Los resultados obtenidos permiten al mismo tiempo preparar las reparaciones necesarias con los programas informáticos actuales, y afinar los resultados de las simulaciones teóricas al compararlos con los resultados reales levantados en campo.

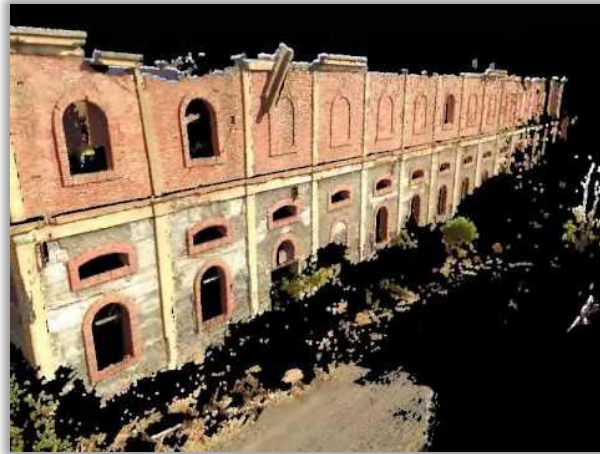


Ilustración 63. Tecnología láser escáner en evaluación de daños causados por terremotos

- **Derrumbes y hundimientos**

Cuando sucede un derrumbe, al realizar un escaneado después del accidente, el modelo digital que se obtiene permite a los diferentes expertos (geólogos, constructores y empresarios) analizar cuáles pudieron ser las causas del derrumbe.



Ilustración 64. Equipo láser escáner en análisis de hundimientos

- **Entretenimiento**

Los escáneres 3D son usados por la industria del entretenimiento para crear los modelos 3D digitales para películas y videojuegos. En caso de que exista en el mundo real el objeto cuyo modelo se quiere escanear, es mucho más rápido escanear el objeto físico que crear manualmente el modelo 3D por medio de software de modelado.



Ilustración 65. Tecnología láser escáner aplicada a videojuegos

- **Catastro**

El montaje de escáneres de alta velocidad sobre plataformas móviles está creando una verdadera revolución en los levantamientos topográficos aplicados a la viabilidad y al catastro. El equipo compuesto por dos escáneres montados sobre los laterales del techo de un vehículo, con cámaras digitales, toma una película al mismo tiempo que los escáneres barren y guardan las nubes de puntos.

En el ámbito del catastro, después de una simple pasada por las calles o avenidas, se obtiene el levantamiento de fachadas en tiempo casi real, y posteriormente en el post proceso, se asignan parcelas con sus códigos correspondientes y su exportación al Sistema de Información Geográfica o SIG.

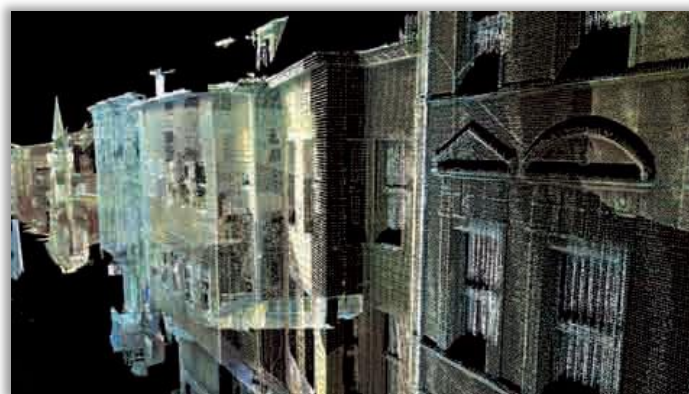


Ilustración 66. Tecnología láser escáner en catastro

- **Subestaciones y líneas eléctricas**

Otra aplicación usual del equipo láser escáner es en trabajos sobre los corredores de líneas eléctricas y subestaciones eléctricas. Con la tecnología láser se pueden registrar y discriminar los objetos de interés aplicando pseudocolores a los mismos, tanto con detalles del terreno como con detalles de la vía, árboles y torres eléctricas.

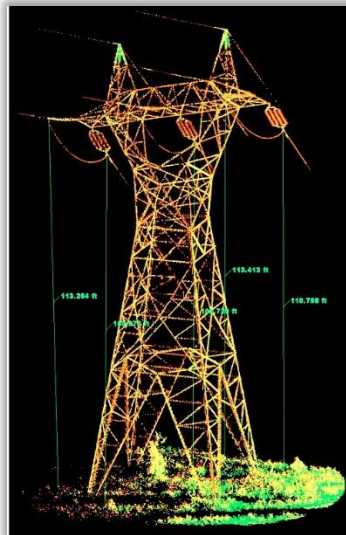


Ilustración 67. Tecnología láser escáner en torres eléctricas

- **Automoción e ingeniería aeroespacial**

En estas aplicaciones en las que la “ingeniería inversa” tiene una gran presencia, es indispensable la obtención de información rápida y precisa para la creación de diseños a partir de productos ya fabricados. La tecnología láser escáner permite la creación de prototipos, análisis de piezas, comprobación de modelos, etc., aportando una herramienta muy eficaz en los controles de calidad de cualquier producto.



Ilustración 68. Tecnología láser escáner en ingeniería aeroespacial

- **Estudios forenses y accidentes**

Desde un simple accidente de tráfico, hasta un levantamiento completo de la escena de un accidente aéreo, el equipo láser escáner aporta un registro geométrico prácticamente exhaustivo de los hechos ocurridos en un instante preciso, pudiendo llegar a crear una simulación del suceso.



Ilustración 69. Tecnología láser escáner en accidentes de tráfico

En el caso de la escena de un crimen, se necesita documentar todo el escenario de forma urgente para evitar su deterioro y la pérdida de información. Con esta documentación tridimensional, los forenses pueden examinar la escena en busca de líneas de visión o trayectorias de bala.



4. EQUIPAMIENTO MATERIAL



4.1. EQUIPO RIEGL LMS-Z420i

El equipo que se ha utilizado para la realización de este proyecto es el láser escáner terrestre RIEGL LMS-Z420i. Consta de un escáner 3D de larga distancia y alto rendimiento, y una cámara de alta resolución calibrada con gran precisión. Es un equipo que permite realizar la toma de datos de forma automatizada o semi-automatizada y que, posteriormente en gabinete y con dichos datos, permite generar productos tales como superficies trianguladas texturizadas u ortofotos con información de profundidad.

RIEGL LMS-Z420i es un sensor resistente móvil, especialmente diseñado para una rápida adquisición de imágenes tridimensionales de alta precisión, incluso bajo condiciones ambientales extremas, ofreciendo una combinación de un amplio campo de visión con una rápida adquisición de datos.



Ilustración 70. Láser escáner Riegl LMS-Z420i

La distancia máxima que se puede medir con un escáner laser 3D es un factor de importancia primordial, y limitar esta característica es limitar el ámbito de aplicación del instrumento.

El escáner laser RIEGL LMS-Z420i tiene un alcance de hasta 1200 metros. Esta serie asocia automáticamente al escaneado láser imágenes de alta resolución adquiridas por una cámara métrica instalada y calibrada, que permite explotar la imagen de alta definición para la detección y digitalización de macrofracturas y detalles de interés. Este escáner láser proporciona además la posibilidad de trabajar con una interfaz con antena GPS para la georreferenciación del levantamiento.

Sus características principales son las siguientes:



- **Características láser**

- Rango de medida de distancias: de 2 a 1200 metros, en función de la reflectividad del material
- Exactitud o Repetitividad de las medidas: 8 mm en medidas únicas y 4 mm en medidas promediadas
- Precisión: 10 mm
- Velocidad de adquisición de puntos:
 - o Con el espejo oscilante: 11000 pto/s
 - o Con el espejo rotatorio: 8000 pto/s
- Longitud de onda del láser: infrarrojo cercano
- Divergencia del haz: 0.25 mrad (corresponde a un rayo láser de 25 cm a 100 metros)

- **Rendimiento del escáner**

- Línea vertical de escaneo
 - o Rango de ángulo de medida: de 0° a 80°
 - o Mecanismo de escaneo: espejo rotatorio-oscilatorio
 - o Velocidad de escaneo: de 1 a 20 escaneos por segundo
 - o Ancho de malla (ángulo entre dos disparos láser consecutivos):
 $0.004^\circ \leq \Delta\theta \leq 0.2^\circ$
 - o Resolución angular: 0.002°
- Plano horizontal de escaneo:
 - o Rango de ángulo de medida: de 0° a 360°
 - o Mecanismo de escaneo: espejo rotatorio
 - o Velocidad de escaneo: de 0.01° a 15° por segundo
 - o Ancho de malla (ángulo entre dos líneas de escaneado consecutivas):
 $0.004^\circ \leq \Delta\phi \leq 0.75^\circ$
 - o Resolución angular: 0.0025°
- Sensor de inclinación: opcional

- **Calibración de la cámara**

- Cámara Canon EOS 20D
- Modelo de lente: Canon 20 mm
- Velocidad máxima de apertura: 1/8000
- Tiempo de exposición: 1/160 segundos
- Resolución: 8.50 Mpixel
- Flash
- Resolución máxima:
 - o Nx (pix): 3504
 - o Ny (pix): 2336
- Resolución mínima:
 - o Nx (pix): 1728
 - o Ny (pix): 1152
- Centro de proyección
 - o Cx (pix): 1777.46761784683
 - o Cy (pix): 1175.55967758513

El material complementario utilizado es el siguiente:

- **Dianas de puntería**

Elementos importantes para la utilización del equipo láser escáner son las esferas y dianas de puntería. En el caso de este proyecto sólo se utilizaron dianas de puntería impresas en papel, ya que las que se pueden adquirir con el equipo en puntos de venta, a pesar de ser mejores para facilitar el trabajo gracias a su coeficiente de reflectividad, son excesivamente caras.

Se imprimieron de dos tipos:

- Formato DIN A-4 con numeración en cada una de ellas
- Dianas de 5x7 cm aproximadamente también numeradas

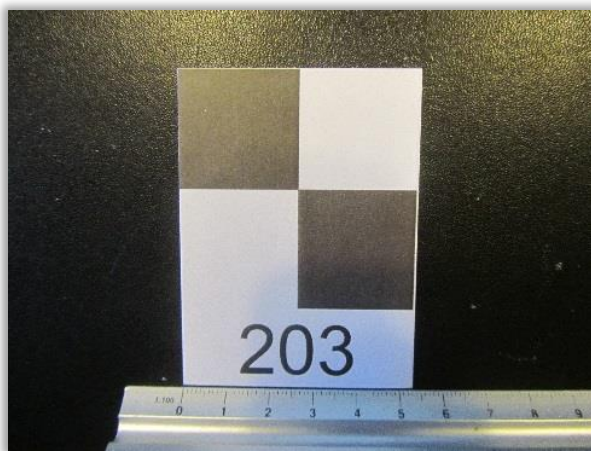


Ilustración 71. Diana de puntería en papel tamaño 5x7 cm

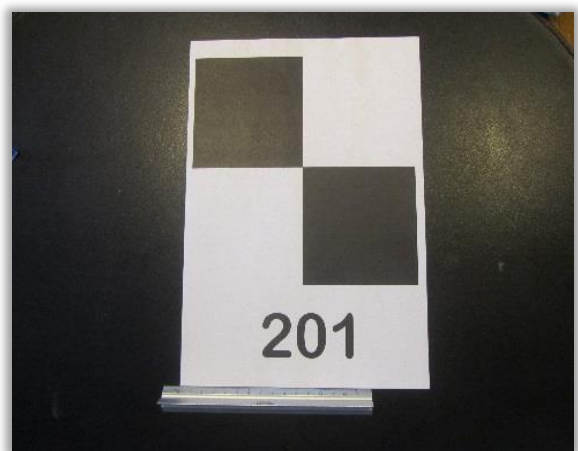


Ilustración 72. Diana de puntería en papel tamaño DIN-A4

4.2. EQUIPO COMPLEMENTARIO

Para la realización de este proyecto, no sólo se ha utilizado un potente equipo láser-escáner. Se ha pretendido también georreferenciar el trabajo dando coordenadas a la nube puntos del levantamiento láser escáner. Para ello se ha realizado una pequeña red que fue obtenida mediante tecnología GNSS.

El equipo utilizado para llevar a cabo la red y realizar sobre ella el levantamiento láser escáner es el que se indica a continuación:

- **Equipos GPS**

Se han utilizado tres equipos GPS para realizar la red: dos GPS Leica-500 y un Leica-1200.

- GPS Leica 1200:
 - *Receptor:*
 - GX1230/GX1220 con doble frecuencia
 - Rastreo continuo en 12 canales en L1 y L2
 - L1: fase portadora con código C/A
L2: fase portadora con código P2
 - Precisión estático: horizontal de 5mm + 0.5ppm y vertical de 10mm + 0.5ppm (fase diferencial en post-proceso)
 - Dimensiones: se presentan para la cubierta sin sus conectores
 - Largo: 0.212m
 - Alto 0.166m
 - Ancho: 0.079m
 - Peso sin batería ni radio de 1.2kg
 - Registro: tarjeta CompactFlash con una capacidad de 32MB
 - Batería externa: NiMH
 - Tiempo de operación en estático: 15 horas continuas
 - *Antena:*
 - AX1202 GG: antena SmartTrack L1/L2 con plano de tierra integrado
 - Dimensiones:
 - Alto: 6.2cm
 - Diámetro: 17.0cm
 - Conector: TNC hembra
 - Peso: 0.44kg
 - *Unidad de control:*
 - RX1210
 - Pantalla: 1/4 VGA, táctil, monocromática, capacidad para gráficas
 - Dimensiones:
 - Longitud: 0.218m
 - Ancho: 0.123m
 - Grosor: 0.036m
 - Peso: 0.480kg

Todo provisto de protección contra polvo y estanco al agua a 1m de inmersión temporal.



Ilustración 73. GPS Leica 1200

- GPS Leica 500:
 - *Receptor:*
 - SR520/SR530 con doble frecuencia
 - Rastreo continuo en 12 canales en L1 y L2
 - L1: fase portadora con código P1, código C/A
 - L2: fase portadora con código P2
 - Precisión estático: 5mm + 1ppm (fase diferencial)
 - Precisión estático: 30cm (código diferencial)
 - Peso: 1.25kg
 - *Antena:*
 - AT502: antena microstrip L1/L2 con plano de tierra integrado
 - Peso: 0.4kg

Todo resistente a la lluvia, nieve, polvo, arena, humedad del 100% (no condensante), etc.



Ilustración 74. GPS Leica 500

- **Estaciones totales**

Se han utilizado dos estaciones totales para unir el levantamiento láser escáner a la red geodésica: la estación TCR405 y la estación TCR705

- TCR405:
 - Aumentos del anteojo: 30x
 - Precisión de la desviación típica Hz y V en la medición de ángulos (según ISO 17123-3): 5" (1.5mgon)
 - Sensibilidad de los niveles: nivel esférico de 6'/2mm
 - Compensador de doble eje
 - Plomada láser
 - Dimensiones:
 - Alto (con base nivelante y asa): 360mm ± 5mm
 - Ancho: 203mm
 - Longitud: 151mm
 - Peso (incluida batería y base nivelante): 5.2kg
 - Batería: NiMH
 - Correcciones automáticas: error de colimación, índice vertical, curvatura terrestre, refracción y corrección de inclinaciones
 - Registro: memoria interna con capacidad de 576KB
 - Medida de distancias IR:
 - Disposición del EDM: coaxial
 - Programa de medición: IR-prec
 - Precisión desviación típica (según ISO17123-4): 2mm + 2ppm
 - Tiempo de medición: <1seg
 - Medida de distancias RL visible (sin reflector)
 - Disposición del EDM: coaxial
 - Programa de medición: Corto
 - Precisión desviación típica (según ISO17123-4): 3mm + 2ppm
 - Tiempo de medición: 3seg + 1seg/10m > 30m
 - Alcance: 1.5m a 300m
 - Constante del prisma: +34.4mm



Ilustración 75. TCR 405

- TCR705:
 - Aumentos del anteojo: 30x
 - Precisión de la desviación típica en la medición de ángulos (según DIN 18723 / ISO 12857): 5" (1.5mgon)
 - Sensibilidad de los niveles:
 - Nivel esférico: 6'/2mm
 - Nivel electrónico: 2"
 - Compensador de aceite, de doble eje
 - Plomada láser
 - Dimensiones:
 - Alto (con base nivelante y asa): aprox. 360mm ± 5mm
 - Ancho: 150mm
 - Longitud: 207mm
 - Peso: aprox. 4.8kg + 0.8kg (base nivelante) + 0.4kg (módulo batería)
 - Batería: NiMH
 - Correcciones automáticas: error de colimación, índice vertical, curvatura terrestre, refracción y corrección de inclinaciones
 - Registro: memoria interna Flashmemory con capacidad de 288KB
 - Medida de distancias IR:
 - Disposición del EDM: coaxial
 - Programa de medición: IR-PRECISO
 - Precisión desviación típica (según ISO17123-4): 2mm + 2ppm
 - Tiempo de medición: <1seg
 - Medida de distancias RL visible (sin reflector)
 - Disposición del EDM: coaxial
 - Programa de medición: RL-CORTO
 - Precisión desviación típica: 3mm + 2ppm
 - Tiempo de medición: 3seg + 1seg/10m>30m
 - Alcance: 1.5m a 80m
 - Constante del prisma: +34.4mm



Ilustración 76. TCR 705



4.3. SOFTWARE

Para la realización de este proyecto se tendrán que utilizar diferentes programas para las distintas fases en que se dividirá el trabajo de post-proceso.

- *Leica Geo Office v6.0*

Es una herramienta para visualizar y manejar datos GPS, TPS y niveles de forma integrada.

Con este programa es con el que se calcularán coordenadas de una serie de puntos, con los que podremos formar una red geodésica sobre la que se georreferenciará el trabajo en un sistema de coordenadas global.

- *Topcal v2.87.30.0*

Este programa es una herramienta para resolver problemas topográficos y geodésicos, y es el que se utiliza para dotar de coordenadas a los puntos láser escáner a partir de la red geodésica.

- *Riscan Pro v1.2.1b21*

Como cualquier otro instrumento topográfico, el equipo láser escáner lleva asociado una serie de programas informáticos que ayudan al usuario tanto en la toma de datos como en su posterior visionado y tratamiento.

En el caso de este proyecto, el software asociado al equipo Riegl LMS-Z420i es el programa Riscan Pro.

Con este programa se unifican las nubes de puntos, se crean mallas mediante triangulación, se incorporan las fotografías obtenidas con la cámara del equipo para dar texturas, y se llevan a cabo otros trabajos que se mostrarán en el apartado “METODOLOGÍA DE TRABAJO” junto con los resultados obtenidos.

- *RealWorks v6.2.1.0*

Con este programa se completará el trabajo realizado con el software de Riegl, permitiendo obtener resultados precisos y fieles a la realidad.

- *Autocad 2016*

Programa con el que se realizarán y editarán los planos como productos finales.

5.METODOLOGÍA DE TRABAJO



5.1. PLANIFICACIÓN

En esta fase es donde se realizará el análisis de la zona a levantar y sus alrededores. Se trata de hacer un estudio de la misma, valorar la distancia al lugar de la toma de datos y su accesibilidad y, en función del tamaño y precisión que se ha de alcanzar en el modelo, seleccionar el equipo a utilizar.

Se decidió realizar un modelo tridimensional de uno de los hallazgos hechos en las inmediaciones de Anguita, pero llevar a cabo este proyecto conllevaba ciertas dificultades. El principal inconveniente era la distancia a la que se encontraba el emplazamiento de Madrid, a 150 km aproximadamente. Otro factor a tener en cuenta era la manejabilidad del equipo, ya que el láser escáner en cuestión pesa 25 kg y es muy voluminoso, y por lo tanto se hacía necesario contar con personal auxiliar para el día de la toma de datos.

Se tomó esta decisión dado el interés del emplazamiento, ya que podía tener un valor cultural importante.

5.2. TRABAJO DE CAMPO

5.2.1 Trabajo previo en campo: diseño del proyecto

En primer lugar se hizo un estudio de los hallazgos realizados: el fondo marino fosilizado, la huella fosilizada, los fósiles encontrados y la presunta necrópolis celta. De las posibilidades existentes se eligió esta última por ser la de mayor interés.

A continuación se realizó un estudio minucioso del emplazamiento. Es una parcela no muy amplia y más o menos rectangular, rodeada de árboles y arbustos, en la que se tenía que estudiar la situación de los equipos que permitiera almacenar toda la información necesaria para la realización del trabajo, dejando el mínimo de zonas muertas o sin visibilidad y así evitar posibles huecos en el modelo. No fue fácil dado que toda la zona arbolada estaba casi encima del yacimiento y eso restaba visibilidad y limitaba el posicionamiento de los equipos. Además, se llegó a la conclusión de que la capa de tierra que cubría algunas zonas del yacimiento iba a dificultar mucho la toma de los datos.



Ilustración 77. Yacimiento sin limpiar visado desde el NW



Ilustración 78. Yacimiento sin limpiar visado desde el NE

El dejar preparada la zona para la medición, significó varios días de desplazamiento al lugar en cuestión (que como ya hemos dicho se encuentra a unos 150 km de Madrid) ya que, a pesar de no haber mucha cantidad de tierra sobre la roca, es un proceso lento y pesado. Se utilizaron palas de varios tamaños, pico, escoba y cepillos para limpiar bien el emplazamiento. El primer día fue en el que se utilizaron las palas y el pico para mover la tierra y quitar los matorrales y arbustos pequeños que habían crecido. El segundo día se llevó agua, escoba y cepillo para quitar la última capa de polvo y ver bien las muescas que se encuentran en el suelo (marcas de cincel y grabados en la roca).



Ilustración 79. Yacimiento visado desde el NW en el primer día de limpia



Ilustración 80. Yacimiento visado desde el NE en el primer día de limpia



Ilustración 81. Yacimiento visado desde el NW en el segundo día de limpia



Ilustración 82. Yacimiento visado desde el NE en el segundo día de limpia

Una vez preparada la zona sobre la que se iban a realizar las mediciones, se estudiaron los posibles vértices de la red GPS y los posibles posicionamientos del equipo láser escáner, así como la colocación de las dianas de puntería con las que se iba a trabajar. Todo ello se debía realizar teniendo en cuenta que hubiera una correcta distribución de todos los puntos y una correcta visibilidad entre ellos, salvando la vegetación que rodea la parcela.

Otro factor importante para la realización del proyecto fue la determinación del número de estacionamientos láser a realizar. Se decidió que lo óptimo sería llevar a cabo cuatro, uno en cada esquina de la parcela rectangular, para no dejar ningún punto de la misma sin representación y coger la máxima cantidad de información, aprovechando los vértices de la red geodésica y estacionando sobre ellos. Esto no fue posible debido al problema que se viene señalando a lo largo del apartado, la vegetación, ya que no permitía separar el equipo lo suficiente del yacimiento como para recoger todos los puntos. Por este motivo se redujo el número de estaciones a tres, eligiendo el centro de uno de los lados del yacimiento en vez de sus esquinas como punto de estacionamiento, ya que la visibilidad de la práctica totalidad del emplazamiento era buena.

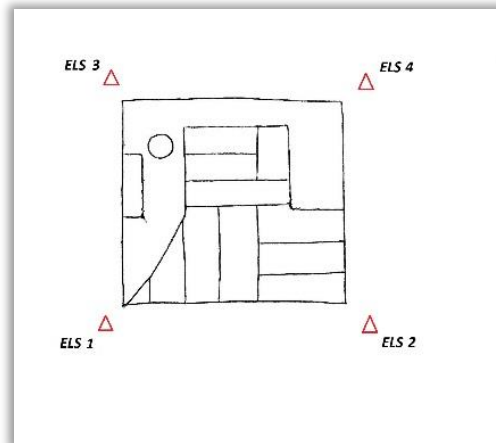


Ilustración 83. Diseño de la distribución de estacionamientos láser escáner

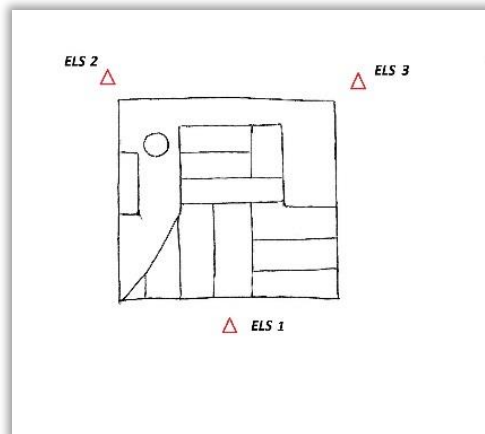


Ilustración 84. Diseño final de la distribución de estacionamientos láser escáner

Con todo esto, el estudio previo a la realización del trabajo quedó terminado.

5.2.2. Toma de datos

Para la observación de la red geodésica se utilizaron tres equipos GPS: dos Leica 500 y un Leica 1200.

Se planeó colocar siete vértices haciendo una revisitación de los mismos para evitar un posible error de altura en cada uno de los estacionamientos. Para ello se realizarían cinco sesiones de toma de datos con tres antenas GPS, con una duración de 20 minutos en cuatro de las sesiones y la quinta de una hora de duración para enlazar con las estaciones permanentes más cercanas.

Para llegar a la conclusión de realizar cinco sesiones se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Considerando 7 estaciones se desea un mínimo de 2 mediciones por estación
Estacionamientos = estaciones $\times 2 = 14$
- Número de sesiones
Sesiones = estacionamientos / número de receptores = $14 / 3 = 4.66 \approx 5$

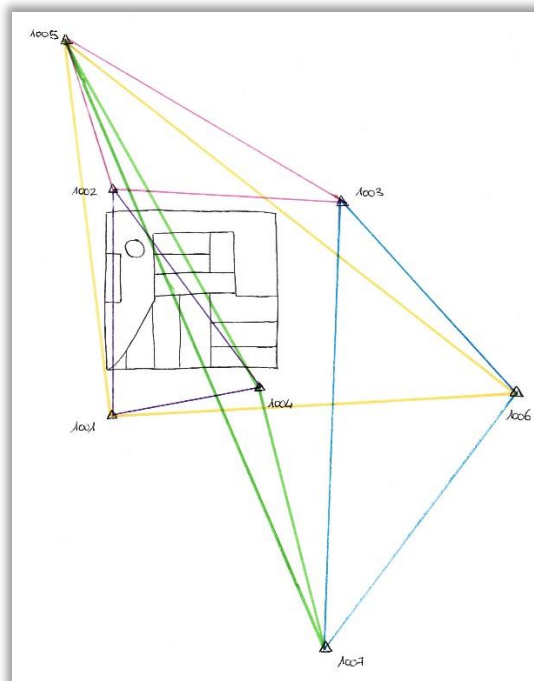


Ilustración 85. Croquis de las sesiones de medición GPS

Sesiones	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3	Sesiones
S1	1001	1002	1004	20 minutos
S2	1002	1003	1005	
S3	1003	1007	1006	
S4	1004	1005	1007	
S5	1005	1006	1001	1 hora

Ilustración 86. Sesiones de medición GPS

En cuanto a la distribución, se optó por colocar un vértice en cada esquina del yacimiento y tres más que abarcasen mayor cantidad de terreno, cubriendo así toda la zona de interés.

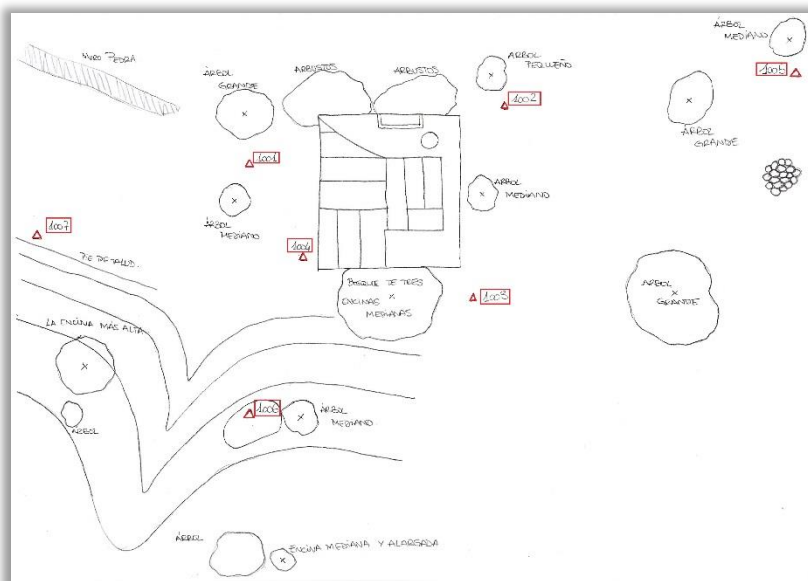


Ilustración 87. Distribución final de vértices GPS

El siguiente paso fue recoger los equipos necesarios y comprobar el correcto funcionamiento de los mismos, momento en el que se pudo comprobar que dos de los equipos no funcionaban debidamente ya que en uno de ellos el canal de comunicación no funcionaba, y en el otro faltaba una parte del software que teóricamente no se podía eliminar.

Una vez cambiados los equipos y comprobado su correcto funcionamiento sólo restaba ir al emplazamiento y realizar la toma de datos.

Se decidió ir a campo el sábado día 19 de Julio y, una vez allí, el primer paso fue materializar los vértices, para lo cual se eligieron unas barras de hierro a fin de que no se moviesen o se estropeasen, ya que iban a estar colocadas un período de tiempo indefinido. Sólo se dejó a la vista una pequeña parte de dichas barras para evitar, por un lado, su visibilidad, y por otro, que recibiesen patadas o tropiezos de personas cuando no se estuviese allí.



Ilustración 88. Materialización de los vértices

Con los siete vértices ya materializados, se procedió a realizar la observación, pero al colocar los equipos se apreció que uno de ellos no funcionaba correctamente. Esto fue consecuencia de un mantenimiento escaso de los equipos de medida, ya que tuvo que ser en el trayecto de ida al yacimiento donde se debió de soltar uno de los hilos de contacto del compartimento de la tarjeta de memoria de uno de los GPS. Se intentó arreglar intentando fijar de nuevo dicho hilo conductor para no perder el día de trabajo, pero dado que esto no fue posible, que la jornada estaba avanzada y que con sólo dos GPS restantes se iba a ralentizar mucho el trabajo, se decidió fijar nueva fecha para la realización de la red. Ésta finalmente se pudo llevar a cabo correctamente el sábado día 26 de Julio.



Ilustración 89. Equipo GPS averiado

Esto destaca la importancia del buen mantenimiento de los equipos, ya que si éste no se efectúa debidamente, por mucho que se revisen en la oficina antes del desplazamiento, siempre se puede llegar al área de trabajo con la necesidad de volver a gabinete sin la medición realizada, lo que incrementa el coste del trabajo de cara a un cliente. En el caso del presente PFC, sólo el 50% de los equipos comprobados tuvieron un correcto funcionamiento, llegando alguno de ellos a provocar la pérdida del día de trabajo y el consecuente encarecimiento del proyecto.



Ilustración 90. Toma de datos GPS

Una vez terminada la observación de la red geodésica, se fijó fecha para llevar a cabo las mediciones con el equipo láser escáner, optando así por el martes 29 de Julio.

Fueron necesarios dos auxiliares para la toma de datos, así como para transportar todo el equipo hasta la parcela del proyecto debido a los 25kg de peso del equipo láser escáner y a la cantidad de equipos necesarios para llevar a cabo el trabajo: dos estaciones totales para realizar la radiación a las dianas de puntería que se colocarían ese mismo día, la cámara con la que se tomarían las fotografías para dar textura posteriormente en gabinete al modelo, batería externa de coche como medio de alimentación del láser escáner y cuadernos, así como los demás utensilios que fuesen necesarios para la toma de datos.



Ilustración 91. Parte del equipo necesario para la toma de datos

Llevar los equipos desde el coche al yacimiento no fue tarea fácil, ya que, aunque distaban tan sólo 200 metros el uno del otro, el terreno era inestable y estaba repleto de vegetación espinosa y, en algunos casos, relativamente alta.



Ilustración 92. Traslado del equipo del coche al yacimiento

Una vez se trasladaron todos los equipos a la zona de trabajo, se comenzó colocando las dianas de puntería homogéneamente repartidas por la superficie del yacimiento. Éstas se sujetaron al suelo con cinta adhesiva de doble cara.



Ilustración 93. Distribución de dianas de puntería

Con dichas dianas ya colocadas, y mientras se montaba el equipo láser escáner en un punto de coordenadas desconocidas, se comenzó a realizar una doble radiación simultánea desde dos estaciones totales, para minimizar el tiempo de medida, colocadas en dos de los vértices de la red geodésica, el punto 1001 y el 1004 (puntos de coordenadas conocidas). Desde ambas estaciones se observaron las 10 dianas repartidas por la zona de estudio para, más adelante en gabinete, obtener sus coordenadas por

intersección directa. Para ello se orientaron los equipos con dos de los vértices de la red geodésica y a continuación se registraron las dianas.



Ilustración 94. Radiación de las dianas de puntería

Una vez terminada la radiación desde ambas estaciones y terminado de montar el equipo RIEGL, se procedió al levantamiento láser escáner del yacimiento. El equipamiento consta de: láser escáner Riegl, su cámara fotográfica, el ordenador para registrar los datos tomados y la batería externa de coche, además de todos los cables necesarios para conectar todos los aparatos. Al comenzar el trabajo se observó que dicha batería no funcionaba correctamente. Antes que volver a Madrid y perder un día de trabajo, se sopesó la posibilidad de coger la batería de uno de los coches con los que se fue al emplazamiento, aun sabiendo que ninguno de los presentes era mecánico y que existía la posibilidad de que no se pudiese volver a colocar debidamente la batería y quedarse sin coche de vuelta. El experimento resultó un éxito y el equipo láser escáner funcionó con normalidad.



Ilustración 95. Batería de uno de los vehículos que sirvió de sustitución

Para la medición de los puntos se utilizó un software, el mismo que se usa para la depuración posterior de los datos, en el que se introduce el ancho de la malla que se va a registrar y automáticamente el equipo realiza un barrido panorámico de la zona que tan sólo lleva unos minutos. A continuación, sobre esa malla de puntos que aparece en la pantalla del ordenador, se selecciona la zona de interés, se reajustan los parámetros para la nueva lectura de datos, y se lleva a cabo la medición. Esta vez el tiempo de procesado es menor ya que la zona registrada es más pequeña.

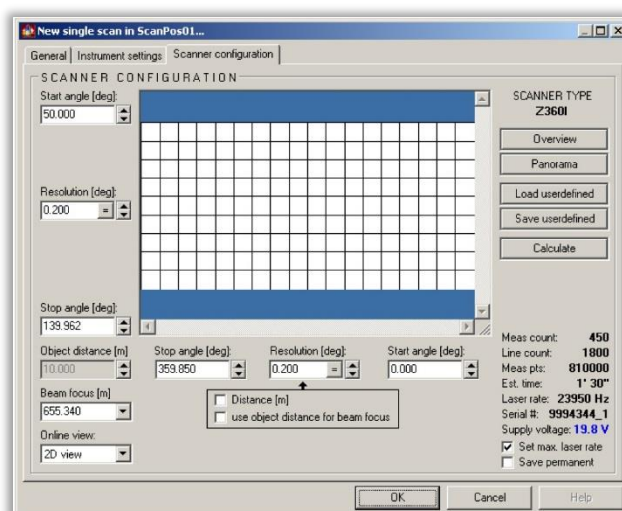


Ilustración 96. Ventana de ajuste de parámetros de medición láser escáner

La siguiente fase es la toma de las imágenes fotográficas para texturizar el modelo. En esta estación, la ELS1, se tomaron 6 fotografías, número que es seleccionado automáticamente por el software (es el propio programa el que, estudiando el campo de visión seleccionado y los parámetros anteriormente introducidos, calcula el número de fotografías necesarias para cubrir la zona de interés).

A continuación se realizó una nueva radiación con estación total desde otro de los vértices geodésicos, el número 1003, para asegurarnos de que ninguna de las dianas se quedase sin registrar, ya que no todas tenían visibilidad desde las otras dos estaciones.

Por último, sólo restaba terminar las observaciones con el equipo láser escáner. Se realizaron dos estacionamientos más para asegurar el no dejar ningún hueco en el modelo. Uno de ellos fue el ELS2, cerca del vértice 1002, en el que se tomaron cuatro imágenes con la cámara del equipo, y el otro fue el ELS3 cerca del vértice 1003, en el que se tomaron tres imágenes. El método de trabajo fue el mismo que el de la primera estación láser escáner.

Una vez terminadas todas las mediciones y comprobando que no faltase nada por ejecutar, quedó completada la fase de campo y se procedió a la realización del trabajo de gabinete.



Ilustración 97. Primera estación del equipo láser escáner Riegl



Ilustración 98 Segunda estación del equipo láser escáner Riegl



Ilustración 99. Tercera estación del equipo láser escáner Riegl

5.3. TRABAJO DE GABINETE: Tratamiento de datos

5.3.1. Red geodésica

En primer lugar se calculó la red geodésica de cuyos vértices se tomaron observaciones en campo. Esto es necesario ya que es con estos vértices con los que se dotará de coordenadas a las dianas de puntería para, posteriormente, unificar y situar las nubes de puntos para la modelización del yacimiento.

Para la realización de esta fase se utilizó el programa Leica Geo Office.

Lo primero fue descargar los datos de los equipos GPS, además de la necesidad de descargar todos los datos del IGN y de ITACYL necesarios para el cálculo de la red: observaciones de las estaciones permanentes, efemérides precisas, las calibraciones de las antenas, el modelo del geoide y cuadrícula de la península ibérica.

Las estaciones permanentes que se han utilizado para el trabajo son Ágreda (AGRD), Molina de Aragón (MOLI) y Yebes (YEB1).

Dado que la versión del programa que está instalado en los ordenadores de la Escuela de Topografía es más antiguo que dos de las estaciones permanentes utilizadas (MOLI y YEB1), y que éstas utilizan una onda portadora L5 que nuestra versión de Leica Geo Office no lee, se tuvo que descargar un programa de filtrado llamado *Rinex Simple* para borrar dicha onda de las observaciones y poder trabajar con las estaciones permanentes en cuestión.

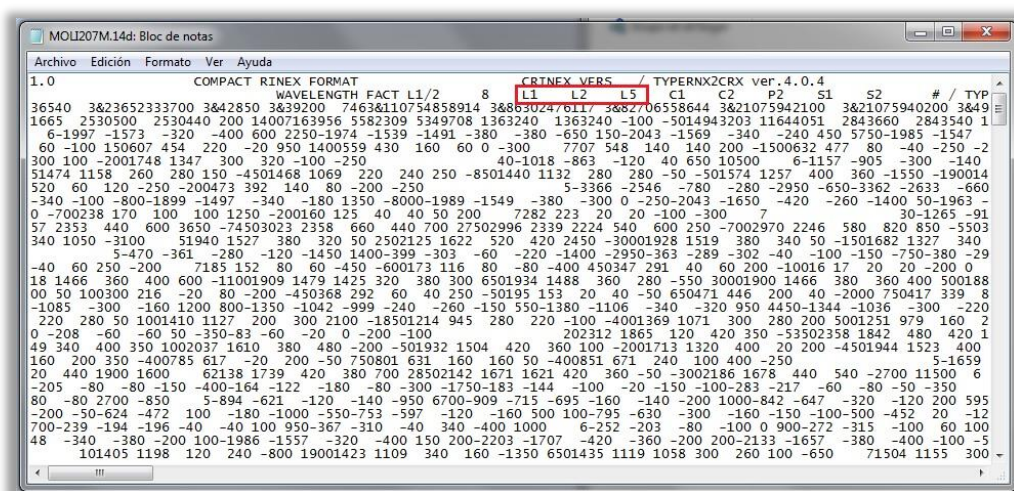


Ilustración 100. Observables de Molina de Aragón con la onda portadora L5

Además, a la estación de Ágreda se le pasó también el programa de filtrado para poder reducir el número de observaciones que se habían descargado, ya que eran ficheros muy pesados: éstos ficheros de observaciones estaban descargados con lecturas por segundo, y lo que el Rinex Simple hizo fue quedarse con lecturas cada 15 segundos, reduciendo así notoriamente el tamaño del archivo. Para ello se tuvo que modificar, mediante programación básica, el fichero que ejecutaba la orden para que, en vez de eliminar una onda portadora, su función fuese la de reducir lecturas del archivo.


```

C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\Users\Sofia\Desktop\RinexSimple>teqc +R -E -O.dec 15 -O.obs "L1 L2 C1 P2" agr
d2071.14o 1>agrd2071.14o

C:\Users\Sofia\Desktop\RinexSimple>teqc +R -E -O.dec 15 -O.obs "L1 L2 C1 P2" agr
d207m.14o 1>agrd2072.14o

C:\Users\Sofia\Desktop\RinexSimple>teqc +R -E -O.dec 15 -O.obs "L1 L2 C1 P2" agr
d207n.14o 1>agrd2073.14o

C:\Users\Sofia\Desktop\RinexSimple>teqc +R -E -O.dec 15 -O.obs "L1 L2 C1 P2" agr
d207o.14o 1>agrd2074.14o

C:\Users\Sofia\Desktop\RinexSimple>teqc +R -E -O.dec 15 -O.obs "L1 L2 C1 P2" agr
d207p.14o 1>agrd2075.14o

```

Ilustración 101. Rinex simple con filtro de observables cada 15 segundos

14	7	26	11	0	0.0000000	0	16G29R19R08G25G06R18R17G14G31R09R15G24		
							R16G12G02R07		
108415854.239	8	84479915.794	8	20630838.195	20630844.113				
118160682.793	7	91902775.859	6	22088886.844	22088893.945				
128954035.223	6	100297616.034	6	24081258.883	24081265.070				
107189937.946	8	83524711.705	8	20397569.367	20397576.695				
131020108.738	6	102093589.442	6	24932279.063	24932290.230				
102991306.061	8	80104621.115	8	19293792.250	19293797.691				
115597474.296	7	89909164.388	7	21602149.305	21602156.129				
114181654.873	7	88972683.67045	5	21728022.125	21728027.367				
119233543.154	7	92909197.111	7	22689361.555	22689367.055				
116810568.804	6	90852707.898	5	21874865.922	21874872.082				
115139407.550	7	89552870.607	7	21546776.039	21546785.637				
124464057.174	6	96985036.114	6	23684747.844	23684758.945				
103752668.315	8	80696442.999	7	19422683.141	19422689.754				
115257452.621	8	89810915.727	7	21932736.906	21932742.512				
123272545.899	7	96056570.51444	4	23457979.781	23457984.590				
126515338.574	5	98400685.036	6	23634084.453	23634095.711				
14	7	26	11	0	15.0000000	0	16G29R19R08G25G06R18R17G14G31R09R15G24		
							R16G12G02R07		
108387626.784	8	84457920.385	8	20625466.719	20625472.816				
118097653.338	7	91853753.025	6	22077104.938	22077111.113				
128944392.300	7	100290116.032	6	24079457.672	24079464.875				
107196300.312	8	83529669.383	8	20398779.945	20398787.348				
131049135.582	6	102116207.743	6	24937802.133	24937814.484				
102985557.376	8	80100149.930	7	19292714.594	19292720.500				
115648710.898	7	89949015.034	7	21611723.648	21611730.242				
114205640.303	8	88991373.60045	5	21732586.508	21732591.672				
119190999.716	7	92876046.399	7	22681265.570	22681270.813				
116761759.546	6	90814745.139	5	21865726.180	21865731.059				
115178592.850	7	89583348.026	7	21554108.984	21554118.297				
124513773.605	7	97023776.127	6	23694209.289	23694219.863				
103741539.725	8	80687787.436	7	19420600.094	19420607.137				
115291383.148	8	89837355.087	7	21939193.695	21939199.094				
123274911.504	7	96058413.83644	4	23458430.008	23458434.258				
126547207.103	5	98425471.617	6	23640038.727	23640047.773				
14	7	26	11	0	30.0000000	0	16G29R19R08G25G06R18R17G14G31R09R15G24		
							R16G12G02R07		
108359521.133	8	84436019.890	8	20620118.406	20620124.324				
118034699.466	7	91804788.991	6	22065335.242	22065343.641				
128934925.130	6	100282752.642	6	24077689.438	24077697.237				
107202733.026	8	83534681.876	8	20400004.016	20400011.668				
131078277.526	6	102138915.747	6	24943348.164	24943359.688				
102980011.477	8	80095836.462	7	19291676.516	19291682.059				
115700055.712	7	89988949.848	7	21621318.758	21621325.063				
114229753.923	8	89010163.40845	5	21737174.711	21737180.258				
119148500.713	7	92842930.298	7	22673178.094	22673183.473				
116712973.968	6	90776800.822	5	21856591.031	21856595.102				
115217864.332	7	89613892.473	7	21561458.742	21561467.297				
124563537.095	7	97062552.826	7	23703679.094	23703689.254				
103730524.766	8	80679220.212	7	19418539.094	19418544.836				
115325349.829	8	89863822.613	7	21945657.563	21945662.926				
123277401.741	7	96060354.29145	4	23458903.758	23458907.988				
126579207.361	6	98450360.666	5	23646016.813	23646024.398				
14	7	26	11	0	45.0000000	0	16G29R19R08G25G06R18R17G14G31R09R15G24		
							R16G12G02R07		
108331537.533	8	84414214.508	8	20614793.391	20614799.422				
117971821.799	7	91755884.221	6	22053581.852	22053588.949				
128925633.629	6	100275525.972	6	24075955.164	24075961.949				
107209236.169	8	83539749.248	8	20401241.484	20401248.770				
131107534.375	6	102161713.293	6	24948914.594	24948926.480				
102974668.477	8	80091680.808	7	19290674.805	19290681.000				
115751508.179	7	90028968.416	7	21630933.648	21630940.168				
114253995.509	8	89029052.93745	5	21741787.977	21741792.828				
119106046.554	7	92809849.175	7	22665099.930	22665105.051				
116664212.925	6	90738875.608	5	21847459.523	21847464.082				
115257221.741	7	89644503.766	7	21568823.797	21568832.500				
124613347.074	6	97101365.739	7	23713157.227	23713167.613				
103719623.564	8	80670741.503	7	19416497.438	19416504.191				
115359352.619	8	89890318.276	7	21952127.828	21952133.438				
123280016.775	7	96062391.98344	4	23459401.508	23459405.598				
126611339.105	5	98475352.084	5	23652018.898	23652026.359				

Ilustración 102. Observables de Ágreda cada 15 segundos

Una vez concluida esta tarea se procedió a importar todas las observaciones de campo para procesar y ajustar la red. El proceso de trabajo fue el siguiente:

Se creó un proyecto al que se denominó con el nombre AGRD_MOLI_YEB1, con los correspondientes sistemas de coordenadas, proyecciones, modelo del geoide y cuadrícula que se iba a utilizar. En el presente PFC se utilizaron los sistemas ETRS89, ED50, proyección UTM 30, modelo del geoide EGM08_RED NAP y la cuadrícula ETRS89_ESP_PEN.

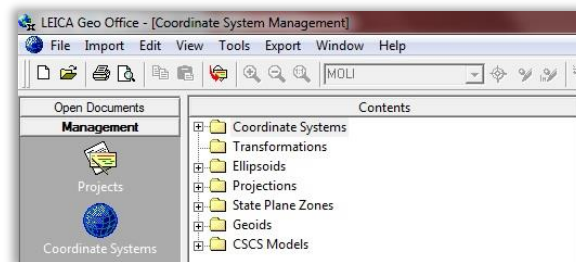


Ilustración 103. Preparación del proyecto LGO

Lo siguiente fue importar las observaciones GPS tomadas en campo, las estaciones permanentes y las efemérides precisas descargadas de internet, seguido de las modificaciones que hubo que hacer a las antenas de dichas estaciones permanentes para asegurarse de que los datos eran correctos.

Point Id	Point Class	Date/Time	Latitude	Longitude
✓AGRD	Control	07/26/2014 10:59:44	41° 50' 56.26999" N	1° 55' 50.02295" W
✓MOLI	Control	07/26/2014 11:59:44	40° 50' 28.45312" N	1° 52' 45.44909" W
✓YEB1	Control	07/26/2014 11:59:44	40° 31' 25.60070" N	3° 05' 24.71087" W
✓1002	Navigated	07/26/2014 12:18:34	41° 01' 55.43490" N	2° 21' 40.77259" W
✓1004	Navigated	07/26/2014 12:19:44	41° 01' 55.32437" N	2° 21' 41.24723" W
✓1003	Navigated	07/26/2014 13:01:24	41° 01' 55.20681" N	2° 21' 41.06853" W
✓1005	Navigated	07/26/2014 13:02:54	41° 01' 55.53846" N	2° 21' 40.16906" W
✓1006	Navigated	07/26/2014 13:42:54	41° 01' 54.92583" N	2° 21' 41.40464" W
✓1007	Navigated	07/26/2014 13:44:24	41° 01' 55.28243" N	2° 21' 42.01958" W
✓1001	Navigated	07/26/2014 15:12:04	41° 01' 55.51598" N	2° 21' 41.35646" W

Ilustración 104. Importación de datos crudos

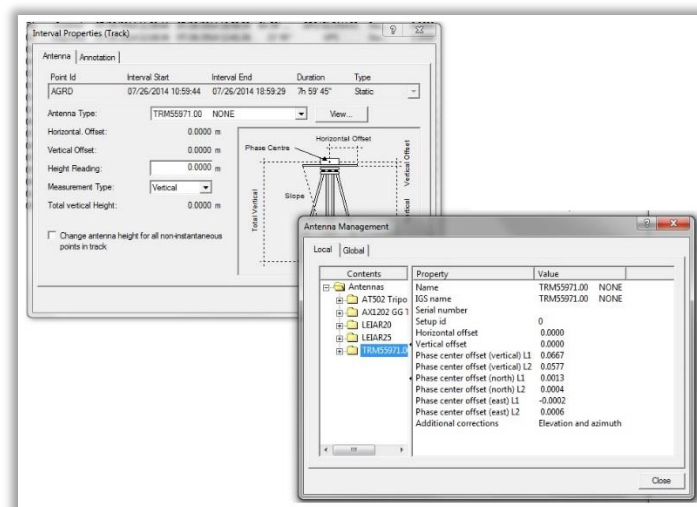


Ilustración 105. Modificación de las antenas de las estaciones permanentes

A continuación se procesaron los datos seleccionando previamente las estaciones permanentes que interesasen como puntos de control. En este caso el paso se realizó en dos bloques:

- Dado que las estaciones permanentes estaban bastante alejadas del emplazamiento, se decidió procesar una de las sesiones, la número 5, dado que es la de más larga duración, dejando como referencia las anteriormente mencionadas: Ágreda, Molina de Aragón y Yebes. Así quedan calculadas las coordenadas de las estaciones de dicha sesión.
- A continuación volvemos a procesar las observaciones restantes dejando como puntos de referencia las estaciones de la sesión número 5 recién calculadas, obteniendo así el resto de coordenadas. Este procesamiento en dos fases se hace para conseguir resolver ambigüedades y una mejor precisión, ya que en vez de enlazar con estaciones que se encuentran a km de distancia, enlazamos con estaciones que están situadas a pocos metros.

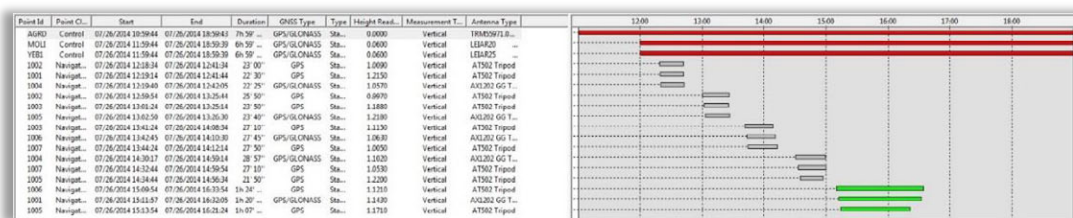


Ilustración 106. Procesamiento de datos

Una vez calculadas las coordenadas de las estaciones de la red, es necesario ajustarlas y comprobar el informe de resultados. En este proyecto, se observa que la estación permanente de Yebes sólo tiene una línea base (de color negro) con uno de los vértices de la red, el 1006; así mismo se constata que la red no cierra de forma precisa. Comprobamos que, efectivamente, el problema viene de dicha estación permanente, con un error de cierre en posición+altura de 0.1104 m. Comprobando de nuevo que los datos de dicha estación están correctos y que la causa del error ha de ser otro, se decide desactivar esa estación, y aunque al hacer esto cambia de color otra de las líneas base (Ágreda-1006), comprobamos que el error que resulta de ellas es aceptable.

Los croquis de la red calculada son los mostrados a continuación:

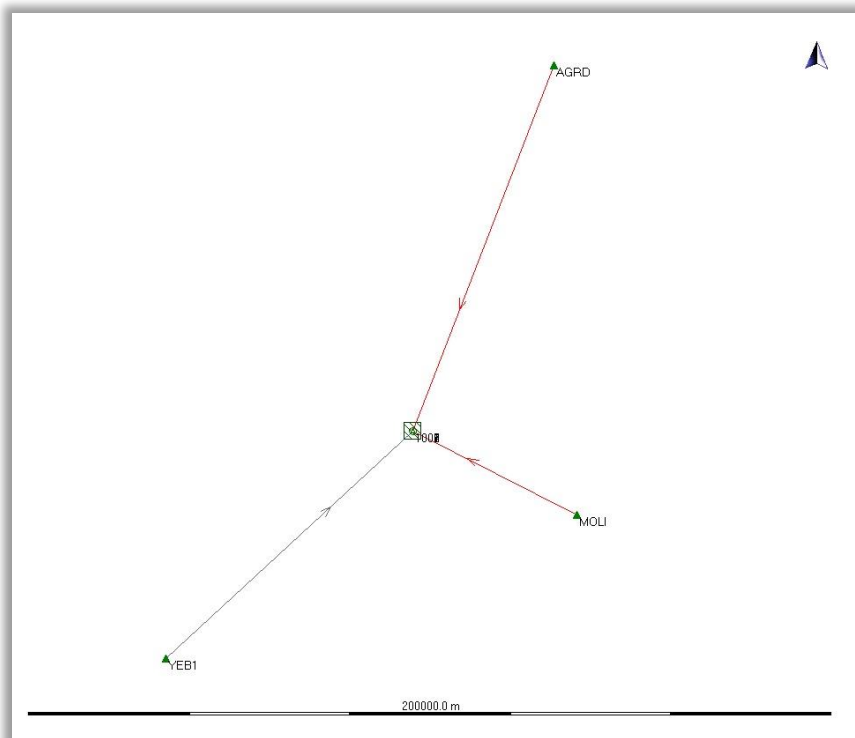


Ilustración 107. Croquis general con la estación YEB1 desactivada

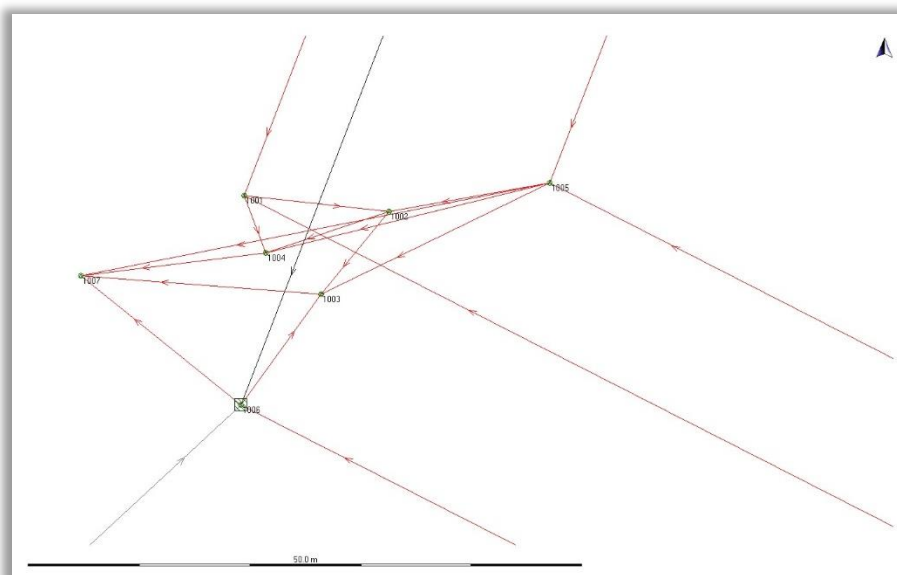


Ilustración 108. Croquis de detalle con la estación YEB1 desactivada

Para asegurar el cálculo, se analizan los informes de resultados, donde aparece la descripción de la red, coordenadas, residuos, vectores de las líneas base, elipses de error, resultados de los test y errores. Al final del informe es donde aparecen las líneas obtenidas que han superado dichos test, en nuestro caso el W-Test y el T-Test, así como el error estimado en cada una de ellas.

General Information									
Testing									
Alfa (multi dimensional):								0.4974	
Alfa 0 (one dimensional):								5.0 %	
Beta:								80.0 %	
Sigma a-priori (GPS):								10.0	
Critical value W-test:								1.96	
Critical value T-test (2-dimensional):								2.42	
Critical value T-test (3-dimensional):								1.89	
Critical value F-test:								0.98	
F-test:								3.25	(rejected)
Testing and Estimated Errors									
	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test		
DX	AGRD	1006	0.0570 m	82	1.3	0.20	2.83		
DY			0.0264 m	82	1.3	1.51			
DZ			0.0523 m	83	1.3	-2.32			
Redundancy:									
W-Test:									
T-Test (3-dimensional):									
Estimated Errors (Observations)									
Estimated Errors For Observations With Rejected W-Tests (max 10)									
	Station	Target	W-Test	Fact	Est err				
DZ	AGRD	1006	-2.32	1.2	-0.0434 m				

Ilustración 109. Informe de resultados de la red GPS

Como estos test son parámetros estadísticos que sirven para localizar los errores más groseros, depende del operador saber si se dan por válidas o no esas observaciones. Para la red, la línea base que en principio daba problema al desactivar la de Yeves, era la de Ágreda-1006. Se puede observar que, efectivamente, el W-Test da aviso de error, y se comprueba que el error estimado es de 4.3 cm, pero dado que la línea base es de casi 100 km, se considera aceptable dicho error y se mantiene el vector. En caso contrario se desactivaría la línea base como en el caso de Yeves, y se volvería a comprobar.

Coordenadas ETRS89 UTM30						Coordenadas ETRS89 Geográficas					
Point Id	Point Class	Date/Time	Easting	Northing	Ortho. Hgt.	Point Id	Point Class	Date/Time	Latitude	Longitude	Ellip. Hgt.
✓ AGRD	Control	07/26/2014 10:59:44	588778.0242	4633559.8836	958.7738	✓ AGRD	Control	07/26/2014 10:59:44	41° 50' 56.26999" N	1° 55' 50.02295" W	1010.8458
✓ MOLI	Control	07/26/2014 11:59:44	594479.9920	4521737.4203	1066.6557	✓ MOLI	Control	07/26/2014 11:59:44	40° 50' 28.45312" N	1° 52' 45.44909" W	1119.4227
✓ YEB1	Control	07/26/2014 11:59:44	492359.9197	4485897.9959	923.4138	✓ YEB1	Control	07/26/2014 11:59:44	40° 31' 25.60071" N	3° 05' 24.71087" W	975.3671
✓ 1001	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553782.6370	4542721.2178	1127.9057	✓ 1001	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 02' 02.16235" N	2° 21' 36.63747" W	1181.2635
✓ 1002	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553686.7257	4542511.3219	1128.8196	✓ 1002	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 55.37874" N	2° 21' 40.81062" W	1182.1785
✓ 1003	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553680.6025	4542503.8489	1128.8827	✓ 1003	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 55.13787" N	2° 21' 41.07518" W	1182.2416
✓ 1004	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553675.6330	4542507.6130	1127.8969	✓ 1004	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 55.26111" N	2° 21' 41.28681" W	1181.2558
✓ 1005	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553701.2582	4542513.8736	1129.9611	✓ 1005	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 55.45804" N	2° 21' 40.18749" W	1183.3198
✓ 1006	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553673.4086	4542493.8829	1131.7709	✓ 1006	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 54.81640" N	2° 21' 41.38637" W	1185.1299
✓ 1007	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	553658.9308	4542505.5307	1126.0675	✓ 1007	Adjusted	11/19/2014 12:12:22	41° 01' 55.19755" N	2° 21' 42.00271" W	1179.4266

Ilustración 110. Coordenadas finales de la red GPS

Una vez ajustada la red y comprobados los informes, se da por concluida esta fase del proyecto.

5.3.2. Red topográfica

Tras obtener las coordenadas de los vértices de la red, utilizados como puntos de estación para observar las dianas de puntería repartidas por el yacimiento, se procedió al cálculo mediante bisección múltiple de las coordenadas de dichas dianas. Para ello se ha utilizado el programa Topcal 21.

El primer paso fue descargar las observaciones de los equipos e introducirlos en el programa.

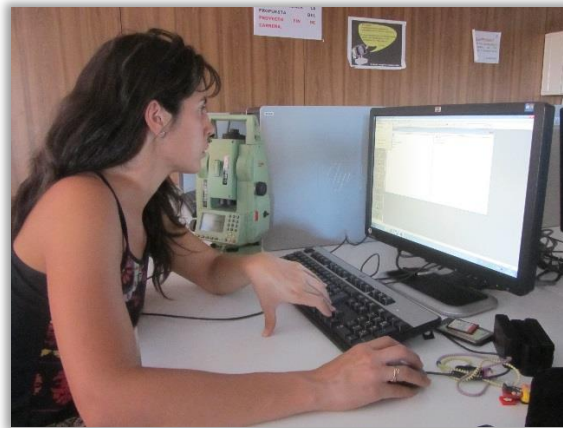


Ilustración 111. Intento de descarga de datos de los equipos

Una vez depurados los estadillos de campo, se creó un proyecto al que se denominó Anguita, se definió el sistema de coordenadas, y se introdujeron los instrumentos con los que se trabajó en campo, cada uno con sus correspondientes especificaciones técnicas.

El siguiente paso fue crear un fichero de puntos donde se introdujeron manualmente las coordenadas de los vértices de la red previamente calculadas.

Una vez hecho esto, tenemos listo el proyecto para empezar a operar. El cálculo constó de cuatro fases: orientación, radiación, bisección y por último la altimetría.

Esta fase del proyecto ha resultado de las más ligeras debido a su manejabilidad y al uso intuitivo del programa.

Número	Coordenadas finales		
	X	Y	Z
201	553679,198	4542510,406	1128,243
202	553678,722	4542508,475	1128,059
203	553682,556	4542509,799	1128,536
204	553681,799	4542507,838	1128,378
205	553680,807	4542505,911	1128,536
206	553677,134	4542506,266	1128,277
207	553676,132	4542509,866	1127,928
208	553678,949	4542512,872	1128,428
209	553682,984	4542511,228	1128,668
210	553680,800	4542511,622	1128,487

Ilustración 112. Coordenadas ETRS89 de las dianas de puntería

Con todo calculado y comprobando en cada uno de los pasos que las desviaciones típicas están dentro de la tolerancia, sólo resta obtener los informes de resultados con las coordenadas, tanto planimétricas como altimétricas, de todas las dianas de puntería utilizadas para el levantamiento.

5.3.3. Preparación de datos con el programa Riscan Pro

En la mayoría de los casos el procesamiento de los datos registrados se realiza a través del software asociado a su propio equipo. Aunque no poseen un desarrollo como puede ser el de otros equipos orientados al entorno gráfico, son muy útiles para un tratamiento y depuración inicial de las observaciones de campo, ya que están diseñados para minimizar el tiempo de adquisición de datos y para una organización óptima de las observaciones de su equipo láser escáner.

A pesar de que se pueden llegar a obtener productos finales con dichos programas, nunca van a conseguir tanta calidad como con los específicamente diseñados para esa finalidad, y por tanto lo mejor es llegar a combinarlos con otros más completos y mejor desarrollados para poder obtener mejores resultados.

Riscan Pro es el programa asociado al equipo utilizado para este proyecto, el láser escáner RIEGL LMS-Z420i. En concreto, este software está diseñado para realizar la captura de datos y el tratamiento de los mismo, es decir, es el mismo Riscan Pro el realiza las medidas en campo y las operaciones en gabinete.

Este programa tiene una estructura de árbol en la parte izquierda de la pantalla donde se almacenan las observaciones de campo importadas, las imágenes obtenidas por la cámara Canon EOS 20D, las dianas de punterías registradas con el escáner, siempre que sean dianas con índice de reflectividad, puntos de referencia si se han tomado, mediciones GPS si el láser escáner constaba del equipamiento necesario, y donde, además, se ejecutará el grueso de las operaciones de tratamiento de datos, entre las cuales se encuentran la visualización 2D y 3D de las nubes de puntos, eliminación de puntos, fusión de las nubes, filtros automáticos de distintas clases para suavizar las nubes, georreferenciación, mallados, secciones, creación de objetos, texturización, etc.

Las principales ventanas que aparecen en este programa son:

- *Main menú/toolbar*: lugar donde se puede encontrar algunos de los comandos como pueden ser el de crear proyectos nuevos, selección y eliminación de puntos, creación de objetos, etc.
- *Project manager (tree view)*: lugar donde se almacena la información guardada del proyecto, por ejemplo escaneos, imágenes, calibraciones, etc.
- *Message list window*: muestra todos los mensajes creados por las distintas funciones del programa Riscan Pro.
- *Threat control window*: muestra una lista de los procesos en funcionamiento y finalizados.
- *Mean working área*: ventana donde se visualiza y manipula la información.
- *Object inspector window*: muestra las propiedades de cada elemento abierto.
- *Info window*: muestra información de los objetos seleccionados, como tamaño, cantidad de puntos, etc.

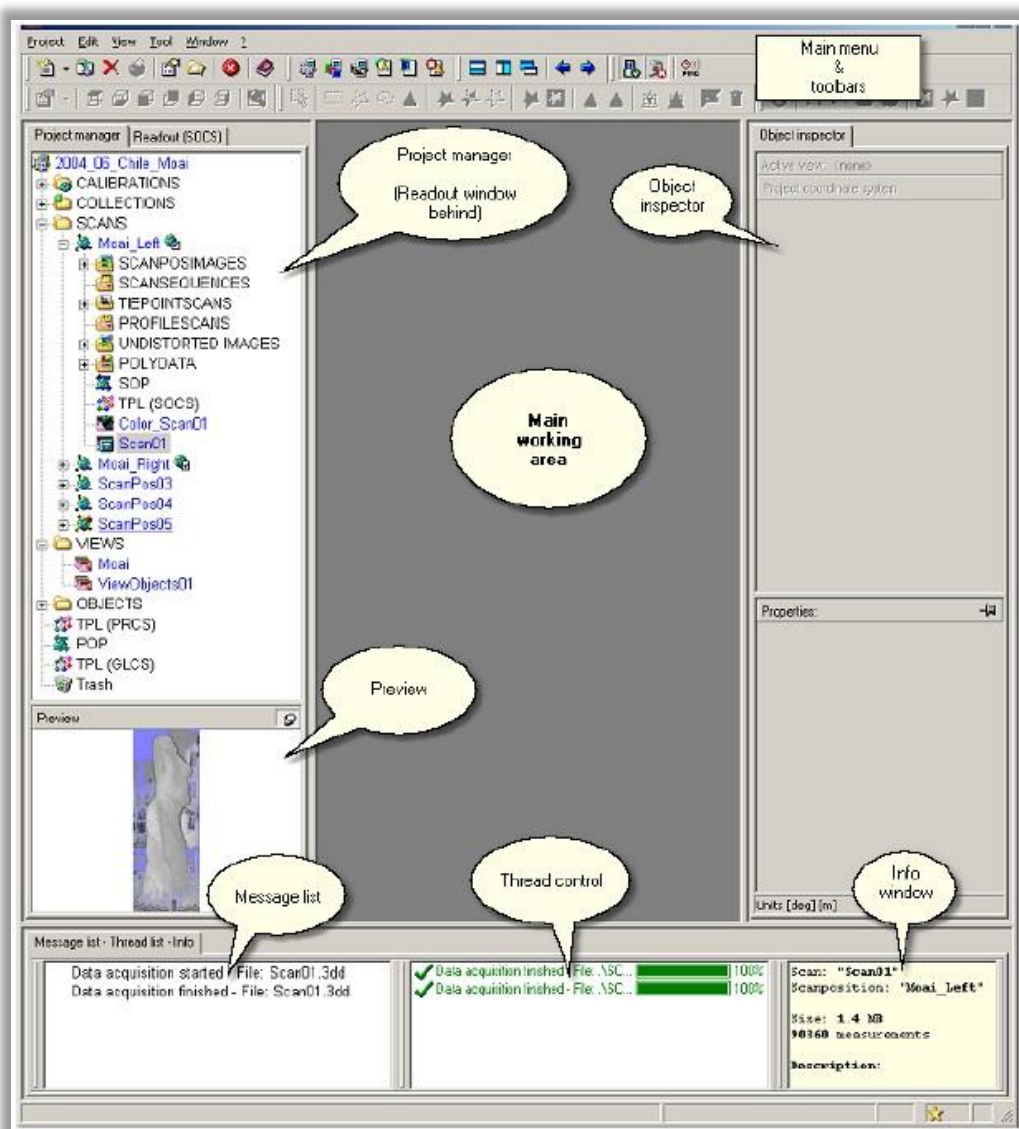


Ilustración 113. Estructura Riscan Pro

- **Procesamiento de las nubes de puntos**

El primer paso para llevar a cabo la depuración de los datos es la importación de los mismos, habiendo hecho previamente una copia de todos ellos y trabajando con dicha copia por si surgiese algún tipo de problema poder volver atrás. Al hacer esto, van a aparecer los distintos escaneos realizados en campo (tantos como queramos importar) en la ventana *Project Manager*, y se podrá abrir cada uno de ellos mediante varios tipos de visualización:

- *View Type*: 2D/3D
- *Type*: False color/Intensity/Reflectivity/True color
- *Sub Type*: Direct/Hitogram/Scaled/Simple/Height/Range/Height-intensity/Range-intensity/Linearscaled/Logscaled (dependiendo del tipo que se seleccione)

Después de abrir varios de los formatos y analizar cómo funcionaban combinándolos entre ellos, se decidió operar en formato 3D para poder trabajar desde todos los ángulos y vistas posibles. En este caso se contaba con una vista panorámica y otra de detalle de cada una de las posiciones de escáner registradas.



Ilustración 114. Vista Panorámica con un barrido 360°



Ilustración 115. Vista de Detalle con un barrido 180°

Normalmente se unen dichas tomas para obtener una nube de puntos más densa y poder llegar a un resultado mejor, pero dado que el presente proyecto disponía de tres posiciones de escáner con puntos de la misma zona, al registrar las nubes ya quedarían lo suficientemente densas y se decidió trabajar únicamente con las vistas de detalle que encuadran poco más que la parcela de interés.

Para este proyecto se realizaron, como ya se ha comentado anteriormente, tres escaneos en tres posiciones diferentes: ScanPos05, ScanPos06 y ScanPos07, nombres que han sido dados por el láser escáner de forma automática al crear el proyecto en campo.



Ilustración 116. ScanPos05 de detalle con 1.364.789 observaciones y un tamaño de 22.1MB

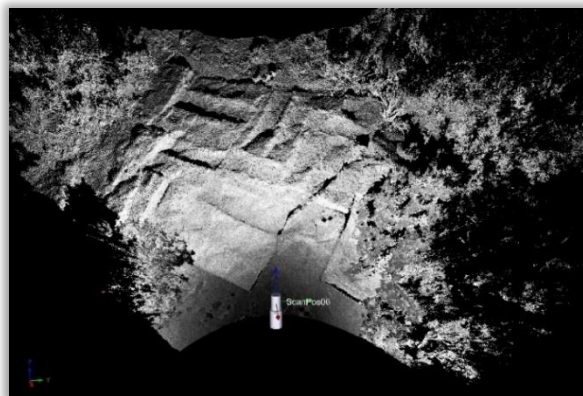


Ilustración 117. ScanPos06 de detalle con 1.143.040 observaciones y un tamaño de 12MB



Ilustración 118. ScanPos07 de detalle con 470.496 observaciones y un tamaño de 4.9MB

Una vez que se han importado los datos se tiene que realizar una limpieza del ruido de las nubes de puntos.

El ruido es toda aquella información innecesaria en el proyecto que se haya podido producir por condiciones meteorológicas, vegetación, personas, edificaciones y vehículos si los hubiese, etc.

En el proceso de manipulación y depuración de datos es conveniente realizar este paso antes de continuar, ya que muchos de los puntos no sólo no son necesarios, sino que además aportan mucho peso a la nube y puede resultar difícil de manejar.

Para llevar a cabo este paso en cada una de las posiciones de escaneo se utilizaron las herramientas de “Toolbar” siguiendo las siguientes indicaciones:

- **Selection Mode** → Se selecciona el área a borrar (sólo se verá el área seleccionada si se pulsa de nuevo “Selection Mode” para desactivar el comando).
- **Delete Select Area** → Borra todos los puntos del área seleccionada.
- Se repetirá esta operación tantas veces como sea necesario para borrar el mayor número de puntos posible que no sean útiles. Éste es un proceso lento y laborioso ya que según te vas acercando a los puntos de interés es más difícil identificarlos a simple vista.



Para realizar este paso se cuenta con la ayuda de las distintas perspectivas que el programa facilita, pero para poder utilizarlas debemos asegurarnos de que la cámara, en el “Object Inspector” esté puesta en modo “Orthogonal” y no “Perspective”.

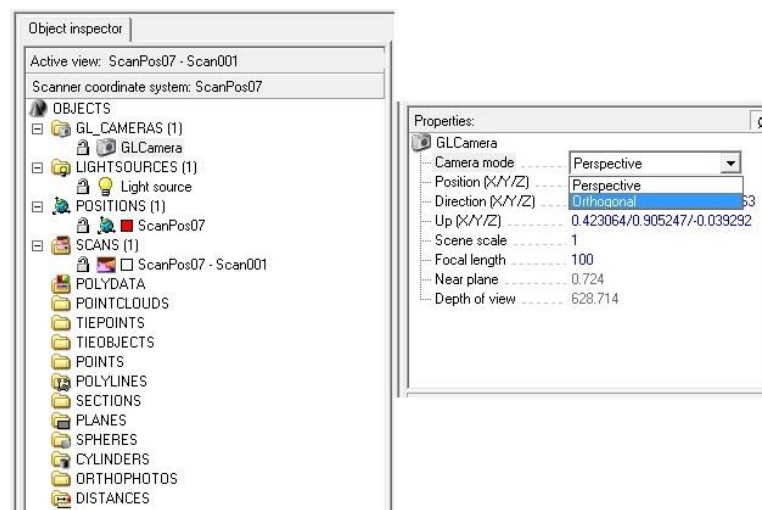


Ilustración 119. Ventana Object Inspector: Cámara en modo Ortogonal

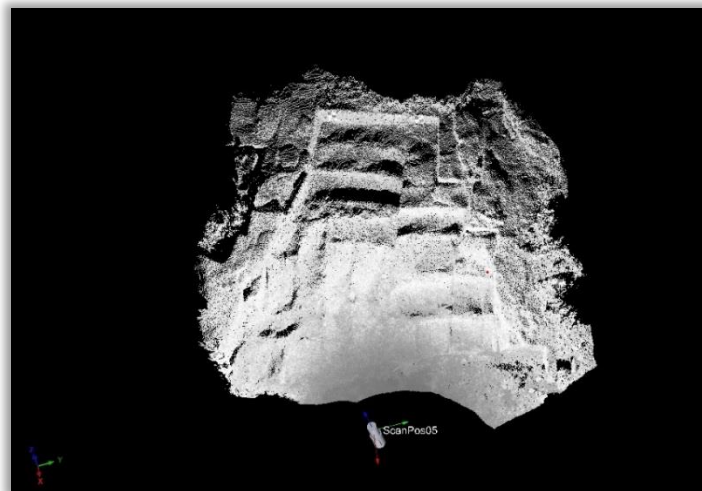


Ilustración 120. ScanPos05 limpio de ruido

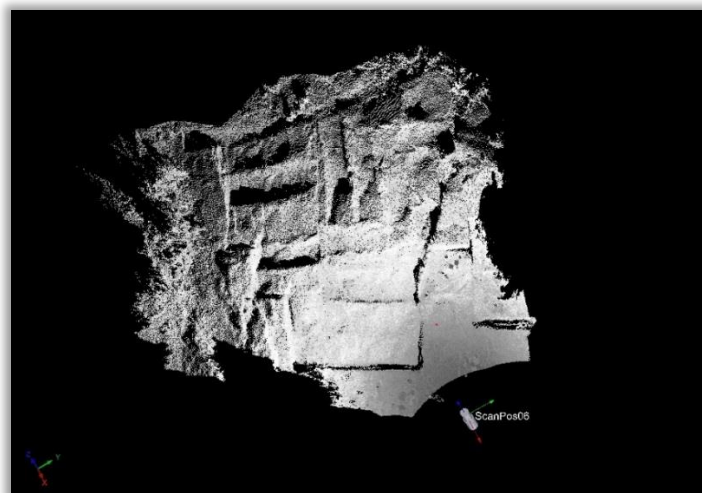


Ilustración 121. ScanPos06 limpio de ruido



Ilustración 122. ScanPos07 limpio de ruido

Hay que tener en cuenta que existen filtros que se pueden pasar de forma automática, pero en este proyecto se ha preferido la eliminación de puntos de forma manual debido al resultado obtenido. Los principios en los que se basa dicha eliminación de puntos es:

- Si un punto tiene pocos puntos o ninguno a su alrededor, se considera ruido. Suele ser ocasionado por personas en movimiento que pasan delante del escáner, vegetación aislada, etc.
- Desplazamiento ligero de los puntos para conseguir una figura lo más parecida a una superficie.

• Registro de las nubes de puntos

Una vez que se ha terminado de eliminar el ruido de los tres escaneos, es necesario unir las nubes de puntos para evitar huecos en el modelo, conseguir una densidad mayor y obtener mejores resultados. A esta operación se la conoce como “registro”.

Normalmente, antes de llevar a cabo este paso, se realiza el muestreo de la nube de puntos, que sirve para prepararlas para futuras triangulaciones, simplificándolas según una serie de criterios. Este paso se ha llevado a cabo después del registro, ya que si no, el proyecto se quedaba con pocos puntos y no se llegaba a identificar correctamente los pares de puntos homólogos necesarios para llevar a cabo el proceso.

Para facilitar esta tarea, se han creado una serie de elementos de puntería en cada posición de escaneo, eligiendo para ello elementos característicos del terreno o dianas de puntería.

Para llevar a cabo el registro lo primero que hay que hacer es fijar una de las posiciones de escaneo, en este caso *ScanPos05*. Para ello:

Botón derecho del ratón sobre ScanPos05 → Registered

Aparecerá una esfera azul con un “check” al lado de la estación.

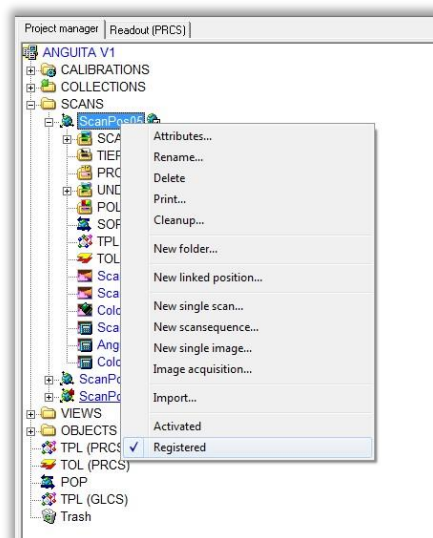
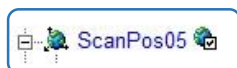


Ilustración 123. Comando para dejar fija una posición de escaneo en el proceso de registro

Se deja fija también la matriz de rotación y posición (SOP) de dicho escaneo para poder rotar y trasladar las posiciones de los otros dos escaneos a ésta. Para ello:

Botón derecho del ratón sobre $SOP_{ScanPos05} \rightarrow Freeze$

Aparecerá una estrella azul a su lado.

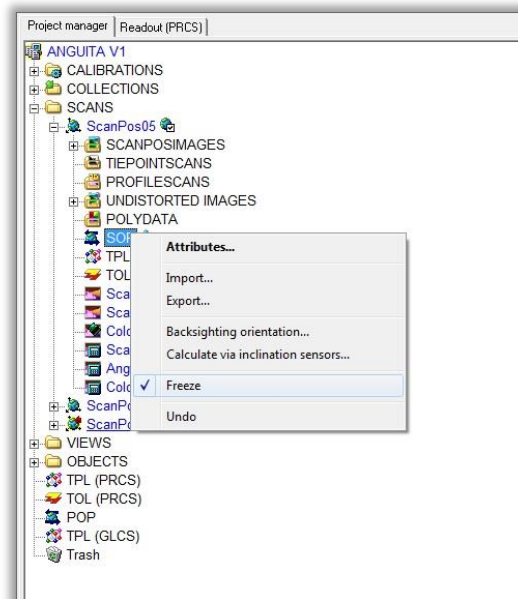


Ilustración 124. Comando para dejar fija una SOP en el proceso de registro

Ahora se pueden mover y rotar las otras nubes de puntos. Para ello:

Main Menu \rightarrow Tool \rightarrow Coarse Registration

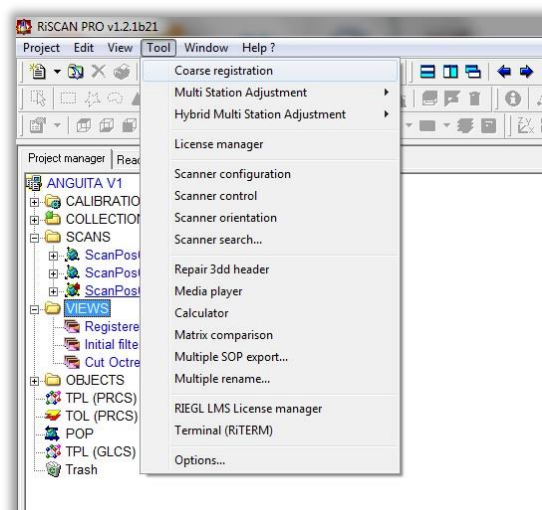


Ilustración 125. Comando para llevar a cabo el registro de nubes de puntos

Aparecerá una ventana con dos apartados: *VIEWS* y *POINT PAIRS*

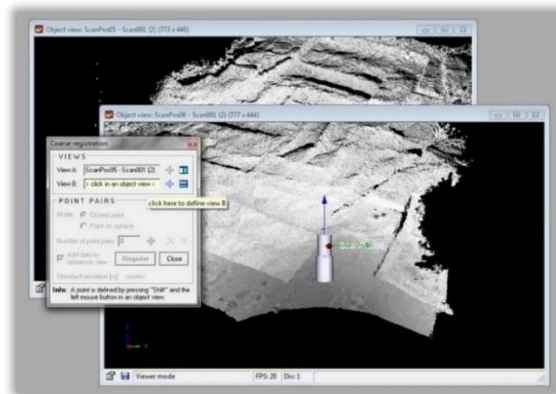


Ilustración 126. Ventana de registro: selección de nubes de puntos

En el apartado *VIEWS* tenemos dos recuadros, *View A* y *View B*, en donde se relacionarán los escaneos de nubes de puntos que se deseen registrar. En uno de los recuadros se seleccionará la nube de puntos que se ha dejado fija, y en el otro la que se va a girar y trasladar.

Una vez seleccionadas las dos ventanas con las que trabajará, se activa automáticamente el apartado *POINT PAIRS*, que hasta este momento permanecía desactivado. Se elige el modo de selección de puntos que más se adapte al trabajo, *Closest Point* o *Point on Surface*, y se procede a la selección de puntos homólogos en ambas nubes. Para ello, y con ayuda del zoom, se buscan los elementos puntuales que se han creado anteriormente. En el caso de este proyecto se ha procurado que dichos puntos se creasen sobre las dianas de puntería, ya que el terreno es muy irregular y es difícil encontrar elementos naturales comunes. Una vez señalados dos puntos homólogos en las ventanas de nubes de puntos se añadirán a la ventana *Coarse Registration*, pulsando para ello la cruz azul que aparece al lado de *Number of Point Pairs*.

Hay que seleccionar un mínimo de cuatro puntos homólogos, que en este caso fueros las dianas 206, 208, 209 y 210. No se dieron más porque no había visibilidad de más dianas desde ambas posiciones de escaneo a la vez, y no era necesario seleccionar más puntos homólogos.

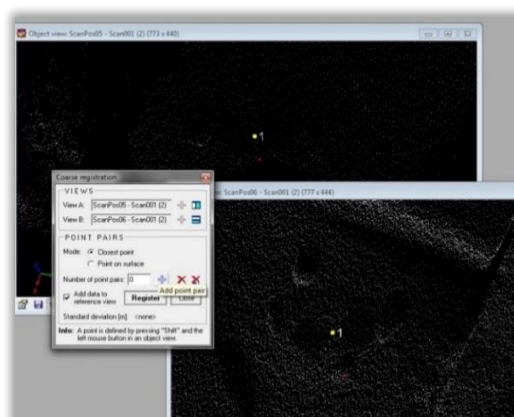


Ilustración 127. Ventana de registro: selección de puntos homólogos

Una vez terminado el registro de las dos primeras nubes de puntos se procedió al registro de la nube recién obtenida con la tercera (hay que anotar que la unión de las nubes de puntos se realiza importando los puntos de la nube que vamos a modificar a la nube que hemos dejado fija en un principio).

Se realiza de la misma forma que el paso anterior, pero en este caso con una salvedad, y es que desde esta tercera posición del escáner no se ven las distintas dianas de puntería, debido en algunos casos a la vegetación, y en otros al ángulo del escáner. Por este motivo se tuvieron que buscar los puntos homólogos para este segundo registro en la propia geometría del terreno. Esto dificulta el trabajo ya que el yacimiento, a pesar de contar con figuras geométricas esculpidas en la tierra, éstas se encuentran erosionadas y deterioradas. Es en casos como éstos en los que se muestra la pericia del operador.

A pesar del inconveniente mencionado, se efectuó correctamente el registro de esta última nube de puntos con las dos anteriores, obteniendo el resultado denso y completo que se pretendía.

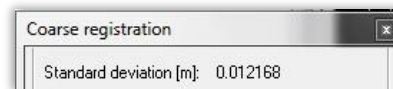


Ilustración 128. Desviación estándar del registro

Esta nube de puntos ha sido guardada como *Registered Scans* y podemos abrirla siempre que queramos en el apartado *Views/Registered Scans* de la ventana *Project Manager*.

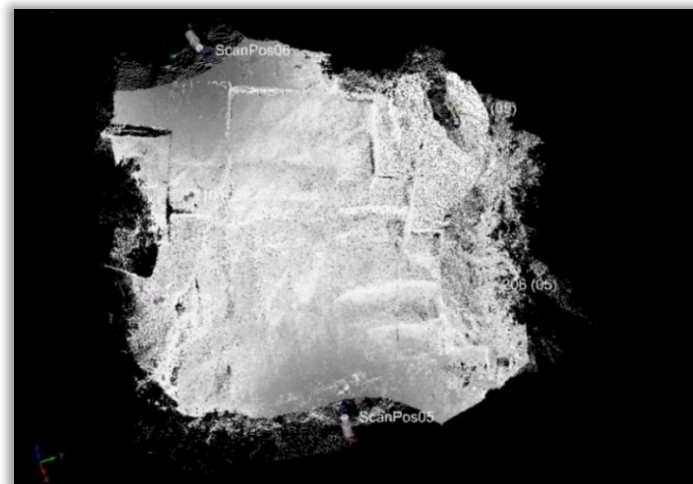


Ilustración 129. Nubes de puntos registradas

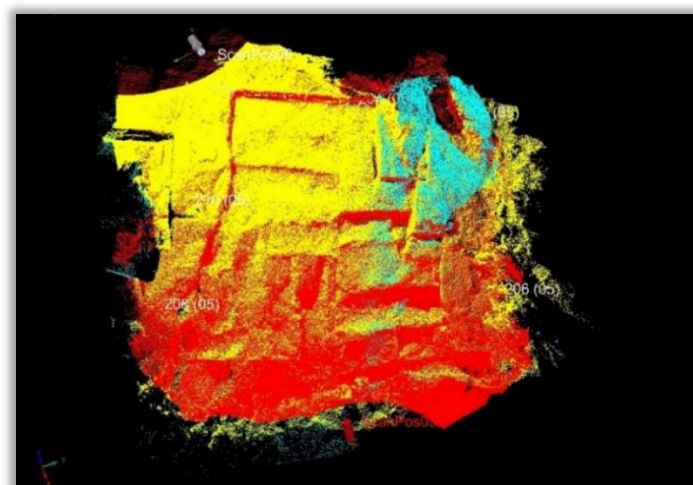


Ilustración 130. Nubes de puntos registradas con un color asignado a cada escaneo

Una vez realizado el registro se pasa al filtrado de la nueva nube de puntos.

Como se ha comentado anteriormente, este paso también se puede realizar antes del registro para facilitar el trabajo, pero dado que en el caso de este proyecto se obtenían nubes de puntos poco densas y se perdía información debido al hecho de no superponer el escaneo panorámico y el de detalle, se decidió realizar dicho proceso después de la fusión de las nubes de puntos; realizando el filtrado antes de dicha fusión se conseguía, entre otras consecuencias, que la mayoría de dianas de puntería desaparecieran y se quedase el proyecto sin referencias precisas para el registro.

Dentro del programa Riscan Pro se pueden crear varios filtros y de distintas formas. Estos filtros se conocen como *Polydata*. En el menú *Project Manager* se encuentran dentro de la sección *Objects/Polydata*.

Tenemos varias opciones para realizar los filtros.

Filter: los que el programa Riscan Pro puede realizar son los siguientes:

- Range gate: elimina los puntos que estén a una cierta distancia del sensor.
- Intensity gate: sólo se guardan los puntos dentro de un rango de intensidad previamente especificado.
- Remove isolated points: elimina puntos aislados. Éste sólo se aplica sobre los escaneos individuales y sin registrar. Para su funcionamiento se selecciona una distancia en metros de un punto y se especifica cuantos puntos vecinos se admiten dentro de esa distancia, con un máximo de 8. Los que tengan menos puntos vecinos que los especificados se eliminan.
- Octree: sirve para disminuir la densidad de puntos y homogeneizar la nube. Ésta se hará más manejable ya que con exceso de información, el programa se puede ralentizar en exceso.
- Point filter: se añaden puntos al resultado final con un factor “n”, es decir, cada “n” puntos se añade uno a la nueva nube.
- All points: Se crea una nueva nube con todos los puntos de la nube de la que se parte. Es un duplicado.

Clean: una vez creado el filtro se puede “limpiar”, es decir, pasarle otros filtros:

- Remove unused points: se borran los puntos que no estén referenciados.
- Merge duplicated points: se eliminarán los puntos que tengan las mismas coordenadas, es decir, los puntos que estén duplicados.
- Tolerance: se juntarán en un punto todos aquellos que estén dentro de una misma tolerancia. Sólo se puede aplicar con la opción *Merge duplicated points* activada.

A continuación se describe el proceso de filtrado de las nubes de puntos.

Una forma de crear un filtro nuevo es:

Botón derecho del ratón sobre Polydata → Create new polydata

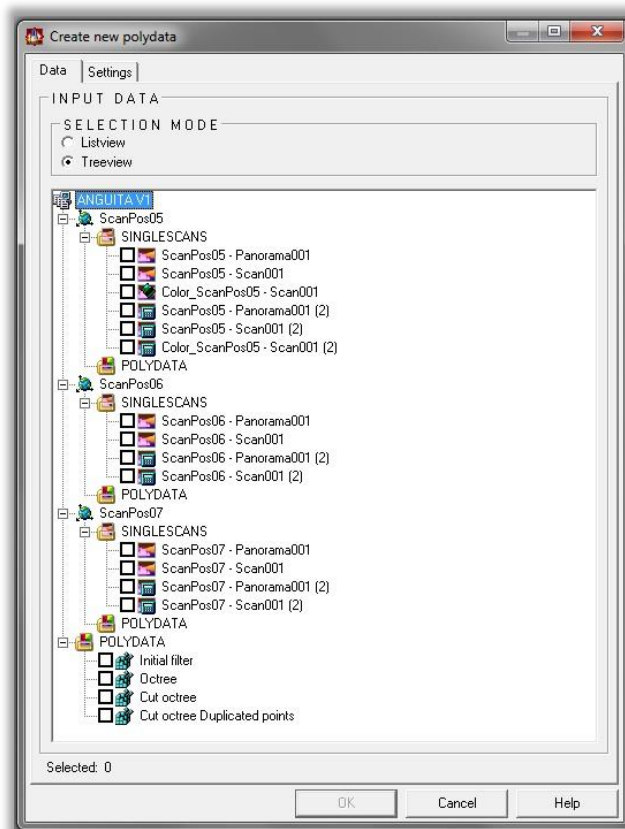
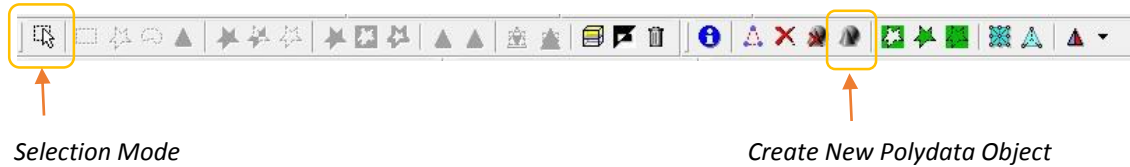


Ilustración 131. Crear un nuevo filtro

De esta forma se puede seleccionar la nube de puntos que se desea filtrar, ya sean los escaneos iniciales, limpios de ruido o no, o bien nubes de puntos con un filtro ya creado. Una vez seleccionado el objeto para que interesa, en la opción *Settings* de la ventana de filtrado se selecciona el tipo de filtro a realizar.

Como no da la opción de crear un filtro de una nube ya registrada (dado que no aparece la carpeta *View* donde se encuentra guardado el registro de las nubes de puntos) se tendría que abrir dicha nube de puntos y seleccionar los puntos que interesen. Para ello, antes de realizar ese paso, se ha llevado a cabo un nuevo estudio de los puntos que aparecen para seguir limpiando la nube, ya que al realizar el registro, puede quedar algún punto desubicado que antes pasase desapercibido. Además se repasará el contorno de la parcela de nuevo para eliminar puntos que se salgan de la zona de interés.

Una vez eliminados los puntos más groseros, se selecciona la nube de puntos completa con la opción *Selection Mode* y a continuación *Create New Polydata Object* del menú *Toolbar*.



Selection Mode

Create New Polydata Object

Después se cierra la ventana y se abre el filtro nuevo, guardado en la carpeta *Polydata*, y que en este proyecto se ha denominado *Initial filter*. Ahora sí que se pueden crear otros filtros tal y como se explicó anteriormente, aunque también se puede realizar de este otro modo más rápido:

Botón derecho del ratón sobre el Polydata creado (*Initial filter*) → *Filter data*

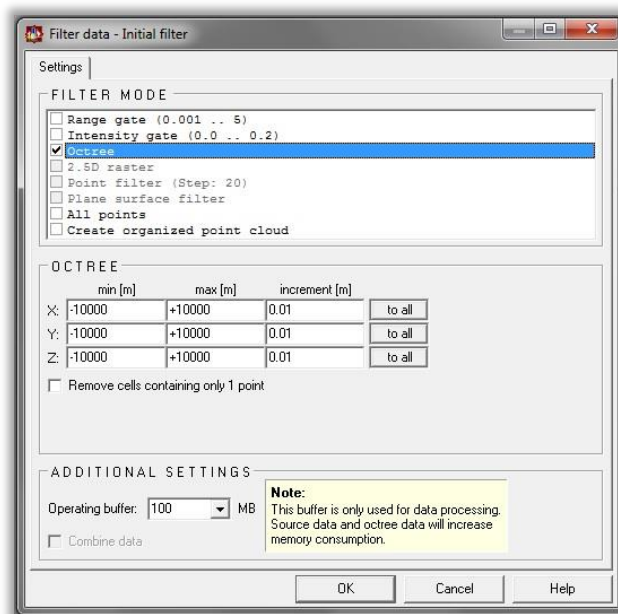


Ilustración 132. Crear un nuevo filtro: Octree

Después de seleccionar el filtro que más interese, en este caso el *Octree*, aparece un nuevo filtro en la carpeta *Polydata* que ha llamado automáticamente *Initial filter (1)* y al que se renombrará como *Octree*. Sobre éste mismo se va a crear otro filtro para duplicarlo y poder seguir eliminando puntos groseros, ya que con éste último creado, se ha obtenido una nube de puntos más homogénea y menos densa que deja estudiar y trabajar con mayor facilidad, y podemos observar nuevos puntos aislados que antes era más difícil ver. A este nuevo filtro se le ha llamado *Cut octree*.

A continuación se ejecutará un nuevo filtro de limpieza:

Botón derecho del ratón sobre el Polydata creado (*Cut octree*) → *Clean data*

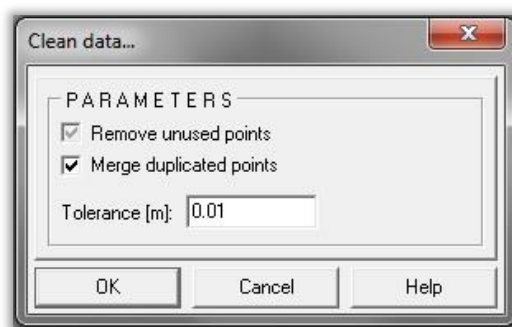


Ilustración 133. Crear un nuevo filtro de limpieza: Clean data

Aparecerá un nuevo filtro en la carpeta Polydata al que se ha llamado *Cut octree Duplicated points*, en el cual se habrá eliminado todos los puntos duplicados. Se ha decidido pasar este filtro ya que las tres estaciones de láser escáner han registrado la misma zona y es muy probable que hubiese puntos repetidos.

Éstos son los únicos filtros que se ha decidido ejecutar, ya que con las demás opciones no se conseguía los resultados que se pretendía.

El recuento final de puntos resulta:

- Initial filter → 1.484.463 puntos
- Octree → 289.946 puntos
- Cut octree → 287.723 puntos
- Cut octree Duplicated points → con una tolerancia de 0.01 → 276.297 puntos

De cada uno de dichos filtros se ha guardado una vista con elementos puntuales en cada diana de puntería.

A continuación se mostrará la diferencia entre el registro inicial y el último paso de filtrado.

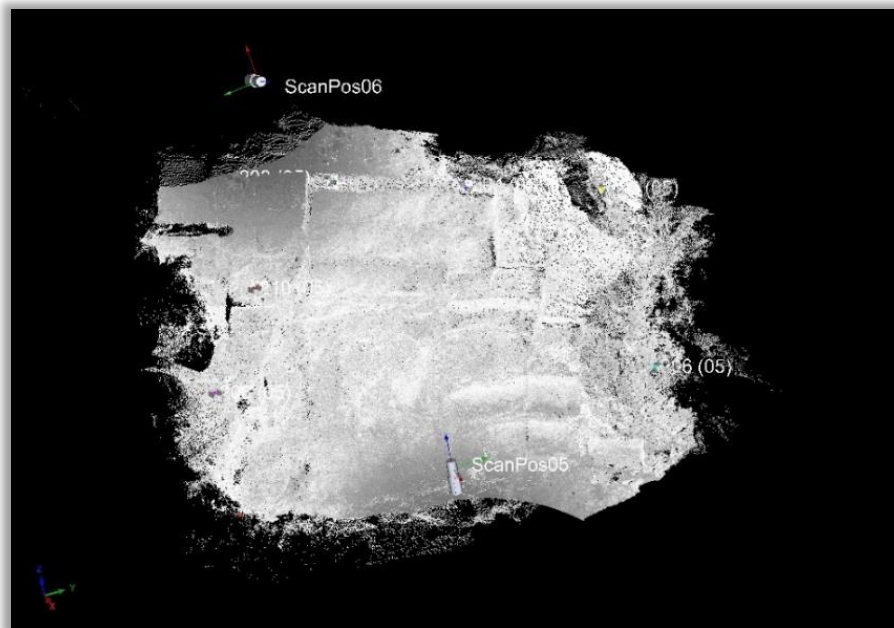


Ilustración 134. Nube de puntos sin filtrar

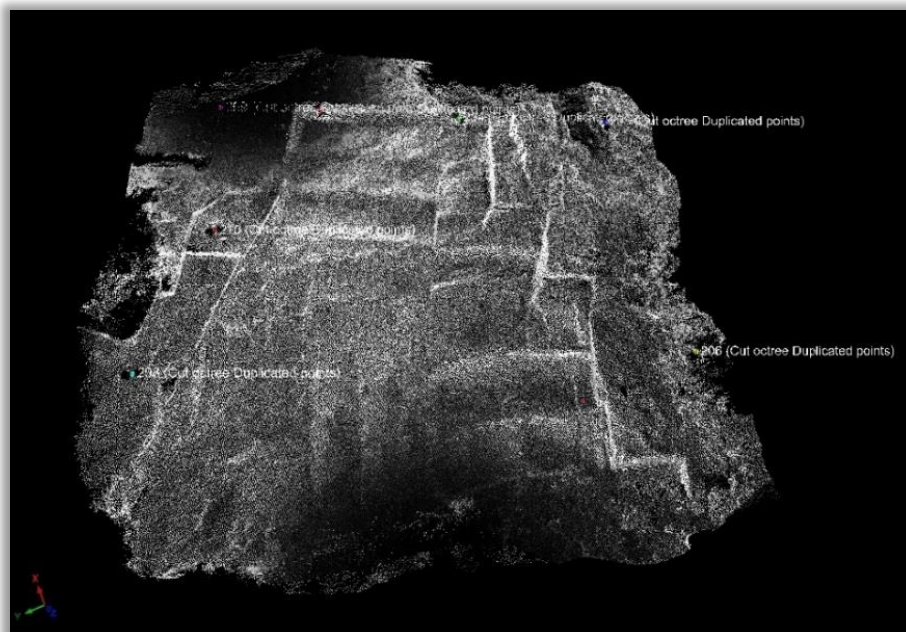


Ilustración 135. Nube de puntos con sus correspondientes filtros

Se acaba de realizar la orientación relativa y limpieza de las nubes de puntos, y el siguiente paso será llevar a cabo la orientación absoluta o georreferenciación de la misma.

Para ello se debe tener en cuenta los sistemas de referencia que se tiene en el proyecto:

- Sistema de coordenadas global
- Sistema de coordenadas del escáner
- Sistema de coordenadas del proyecto

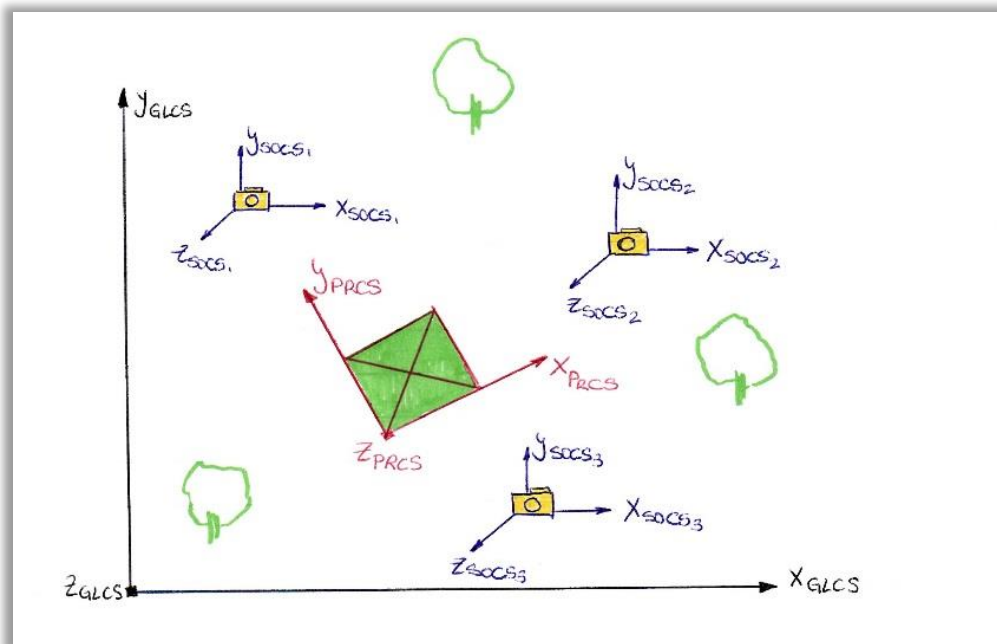


Ilustración 136. Sistemas de coordenadas del software Riscan Pro

Se cuenta con tres sistemas de coordenadas del equipo láser escáner, una por cada estación que se ha hecho; el sistema de coordenadas del propio proyecto; y el sistema de coordenadas global al que se desea pasar las coordenadas de la nube de puntos.

Para poder realizar este proceso de georreferenciación se necesita conocer las coordenadas de los sensores, o bien los datos de las dianas de puntería con índice de reflectividad que se registrasen en campo. Es en este momento donde se decide seguir con otro programa, ya que las dianas de puntería utilizadas no tenían índice de reflectividad por ser impresas en papel y no se conocían las coordenadas de los sensores.

Dado que con el programa Riscan Pro no se podía continuar, se debían exportar las nubes de puntos ya trabajadas y filtradas para poder importar los datos en el nuevo programa. El proceso a seguir fue el siguiente:

Botón derecho del ratón sobre el Polydata definitivo → Export

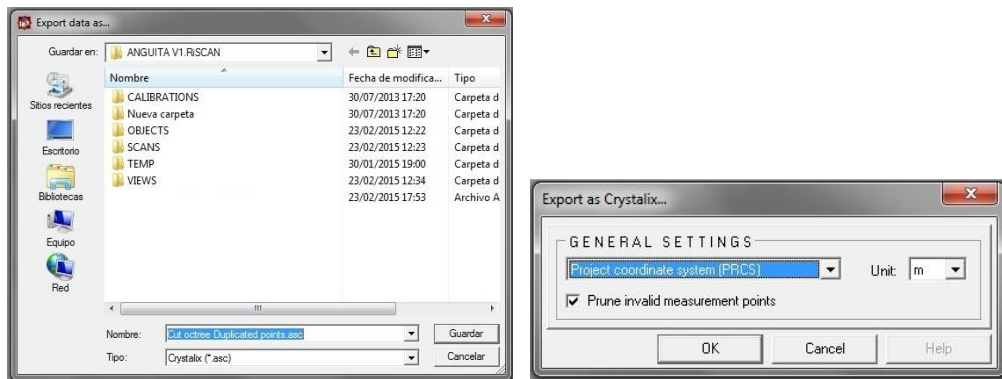


Ilustración 137. Exportar datos

Se exportan los datos en formato *.asc para poder abrirlo con el programa con el que se continúa el trabajo.

5.3.4. Procesado de datos con el programa Realworks

El primer paso a realizar fue la importación de los datos en el programa Realworks para continuar el trabajo donde se dejó. Para ello se tuvo que modificar la anterior exportación del fichero de la nube con el programa Riscan Pro, ya que el formato *.asc (Crystalix), tal y como lo exporta, no permite leer los datos correctamente. También se probó con el formato ASCII, pero igualmente, la nube de puntos se colapsaba. La solución aplicada fue la exportación de datos en formato ASCII (ya que únicamente con este formato se permite elegir los parámetros de salida) y transformarlos a formato Crystalix.

En este trabajo de exportación se decidió trabajar con las coordenadas de los puntos en metros (sin su correspondiente ID, ya que el programa Realworks no lo reconoce) y con la intensidad de cada uno de ellos (con el rango de 0..255, que es el rango aceptado por Realworks).

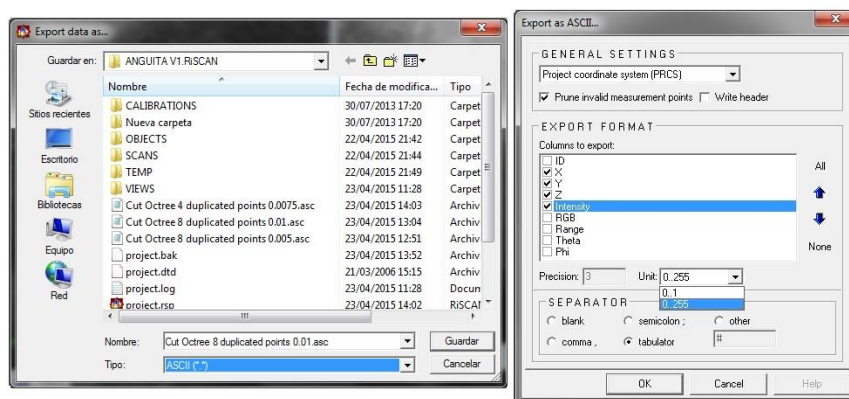


Ilustración 138. Exportar datos con reducción de parámetro

Al abrir el nuevo archivo de la nube de puntos se puede apreciar que el rango de intensidades de la mayoría de los puntos es muy pequeño, viendo a primera vista que dichas intensidades se mueven entre los valores 30 y 50 aproximadamente, y estando la mayoría de ellos en torno a 40. Esto significa que la mayoría de los puntos va a tener intensidades de gris muy similares y que lo más probable sea que no se diferencien debidamente las dianas de puntería para futuros procesos.

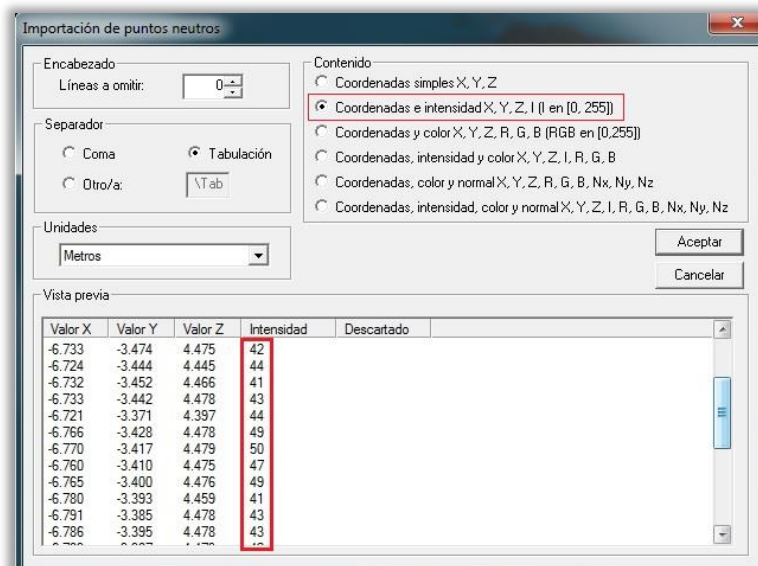
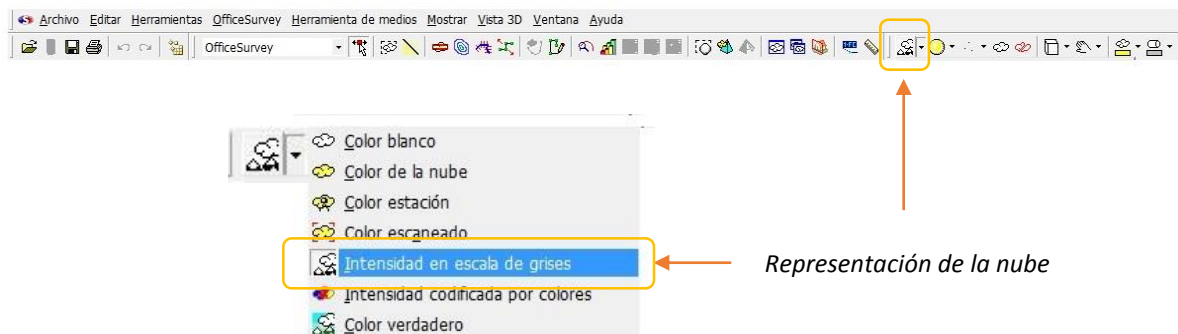


Ilustración 139. Importación de la nube de puntos

Una vez importada la nube de puntos se selecciona “Intensidad en escala de grises” en el *Modo de representación de la nube* para comprobar si se ve correctamente.



Efectivamente, apenas se diferencian las dianas de puntería, por lo que no se podrá realizar una correcta georreferenciación.

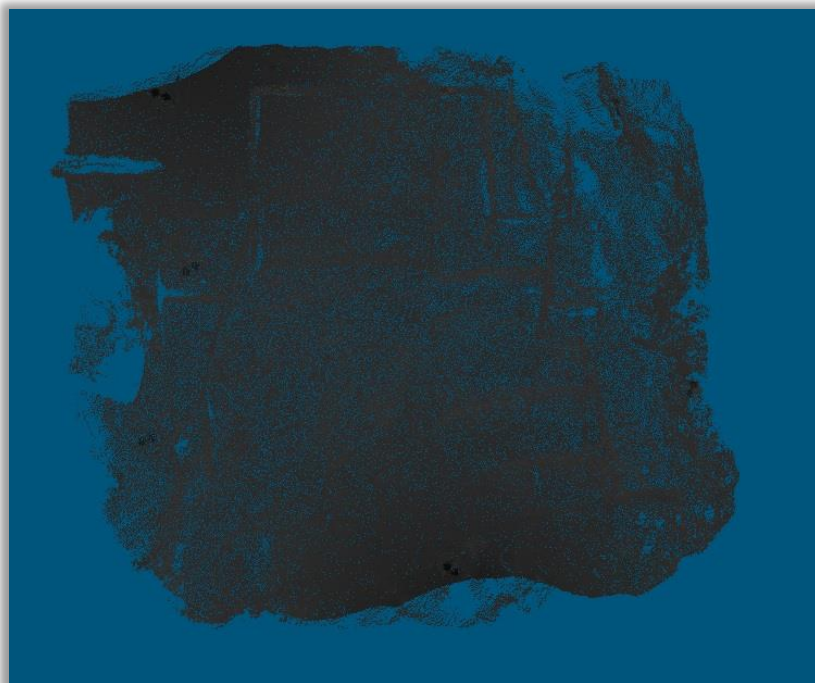


Ilustración 140. Nube de puntos importada

Llegados a este punto, y para una mejor visualización de la nube de puntos y los elementos que representa, se plantea la posibilidad de expandir proporcionalmente los pocos valores de intensidad de gris que abarca dicha nube al rango real que debería llegar, de 0 a 255.

Para ello se utiliza un programa llamado Visual Studio, enfocado a la programación, en el que se ha desarrollado un proceso automático para transformar dichos valores. Dicho proceso sería el siguiente:

- Se busca el mínimo y máximo valor de la escala de intensidades de gris, para saber el rango real que abarca la nube de puntos
 - Mínimo valor: 7
 - Máximo valor: 61
- Se calcula la proporción que va a transformar los valores de intensidad de gris iniciales en otros valores proporcionales con una escala más amplia, de 0 a 255:

$$\begin{aligned} \text{Rango de valores final: } 0 \text{ a } 255 &\longrightarrow 256 \text{ valores} \\ \text{Rango final} / (\text{Max} - \text{Min}) &= \text{Proporción} \\ 256 / (61 - 7) &= 4.74 \end{aligned}$$

- Se multiplica cada valor de intensidad de gris inicial (7 a 61) por la proporción calculada, obteniendo así los valores finales que se buscaban en una escala más amplia (0 a 255).

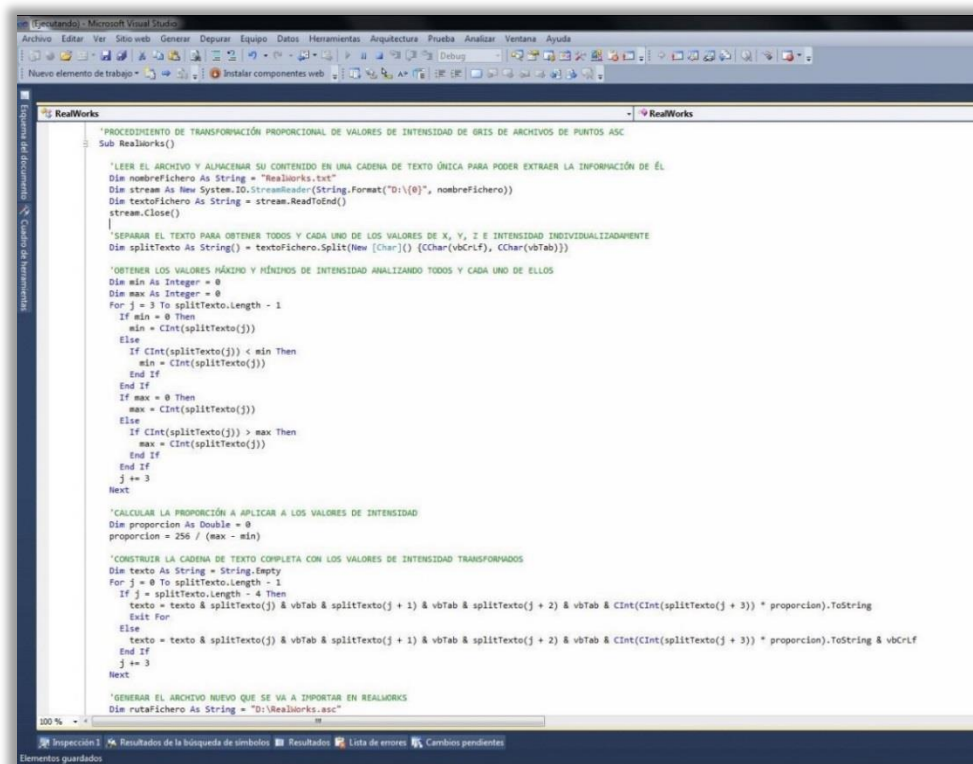


Ilustración 141. Transformación de escala de intensidad de grises con Visual Studio

Este proceso se puede ver completo en el apartado “Filtro ejecutado a la nube de puntos para expandir la escala de grises” de los Anexos.

Al abrir finalmente la nueva nube de puntos con el programa Realworks se puede apreciar la nueva escala de intensidades.

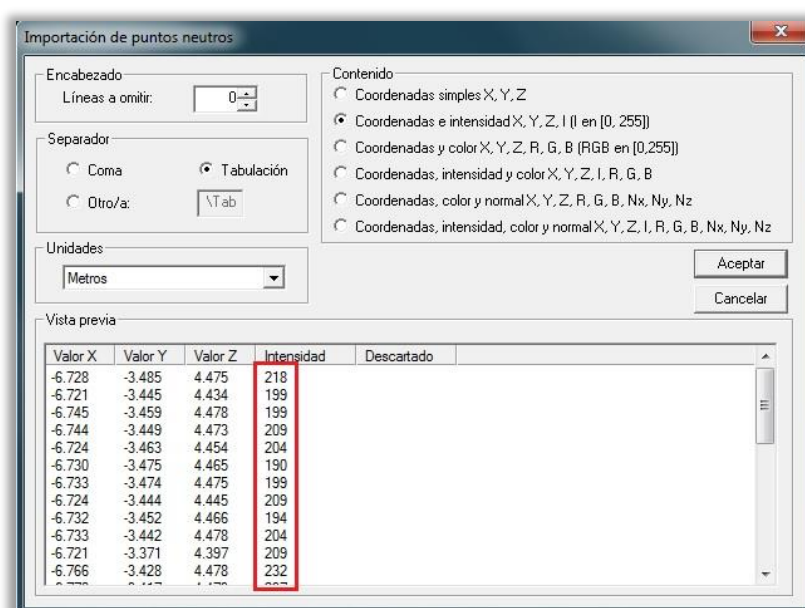


Ilustración 142. Importación de la nube de puntos transformada



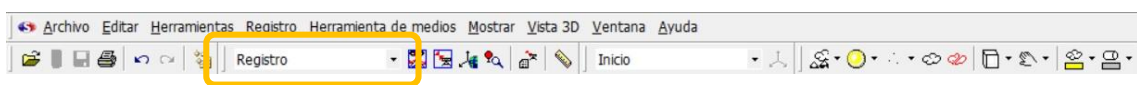
Ilustración 143. Nube de puntos importada y transformada

- **Creación de elementos de puntería**

Una vez se tiene la nube de puntos abierta, comienza el procesado de datos.

La primera tarea fue la materialización de las dianas, crear elementos de puntería con los cuales se podrá georreferenciar más adelante la nube de puntos.

Para ello se tiene que poner el programa en modo *Registro*.



Programa en modo registro

A continuación se tiene que abrir la herramienta para crear las dianas de puntería. Para ello:

Main Menu → Registro → Herramienta Analizador de Objetos

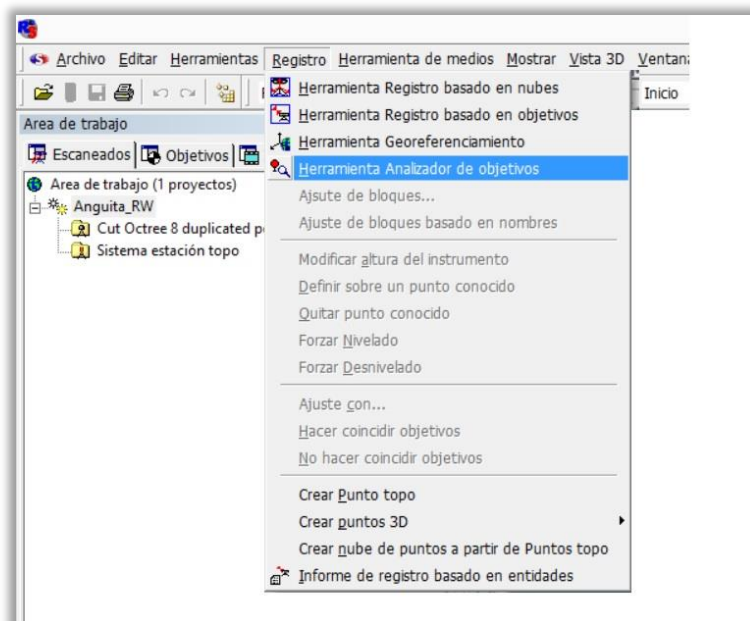


Ilustración 144. Herramienta analizador de objetos

Se abrirá una ventana en la que se podrá seleccionar el escaneo con el que se va a trabajar, en el caso del presente PFC la nube de puntos importada, que aparecerá con el nombre Scan1. Esto se hace en el apartado *Seleccionar un objetivo/Escaneado*.

Se seleccionará el escaneo que representa la nube de puntos y se cambiará el modo de representación de la nube a *Intensidad en escala de grises*, para ver con mayor claridad las dianas escaneadas, ya que por defecto aparece en modo *Color de la nube* y éstas no se distinguen. Una vez seleccionado el escaneo se iluminará el botón *Crear* del apartado *edición de objetivo* y se abrirá una ventana nueva, *Herramienta ajuste*, con los comandos necesarios para la materialización de los elementos de puntería.

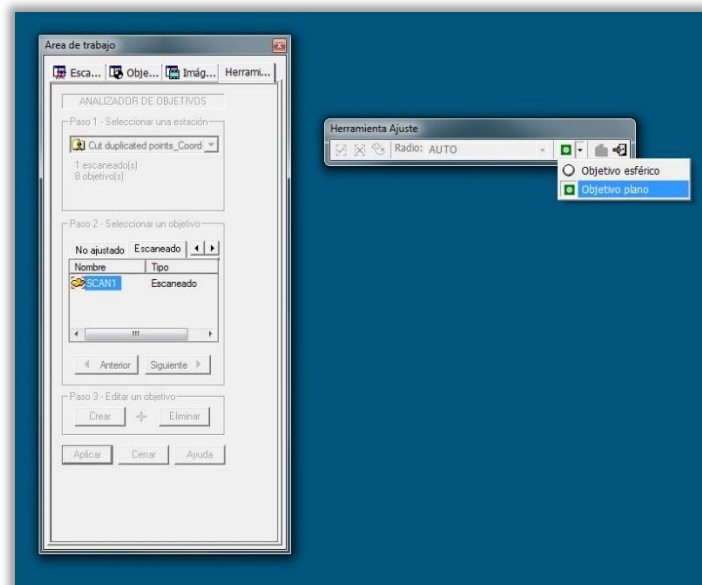


Ilustración 145. Área de trabajo de materialización de elementos de puntería

En esta caja de herramientas se seleccionará el tipo de diana deseado, en el caso de este proyecto *Objetivos planos*, ya que las dianas colocadas en campo eran dianas impresas en papel. A continuación se señala el contorno de la diana de puntería y una vez finalizado el cercado se crea la diana.

Se repetirá este proceso con cada una de las dianas de puntería escaneadas que sea posible localizar. En este caso, se han materializado todas menos las dos más pequeñas, la diana 201 y la diana 202, que debido a su tamaño y a la pérdida de calidad de la intensidad de gris al pasar de un programa a otro no se pudieron localizar debidamente.



Ilustración 146. Diana de puntería 209 materializada

A continuación se mostrará la nube de puntos con todas las dianas de puntería creadas.

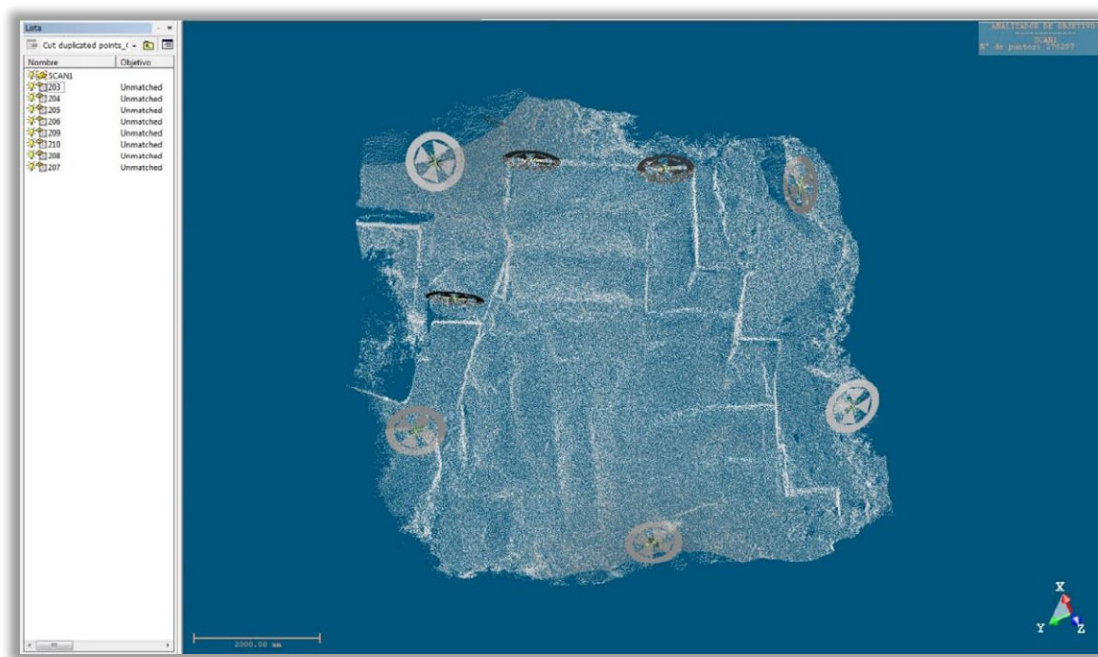


Ilustración 147. Nube de puntos con la materialización de las dianas de puntería

En este momento ya se dispone de los elementos necesarios para la georreferenciación u orientación absoluta del proyecto.

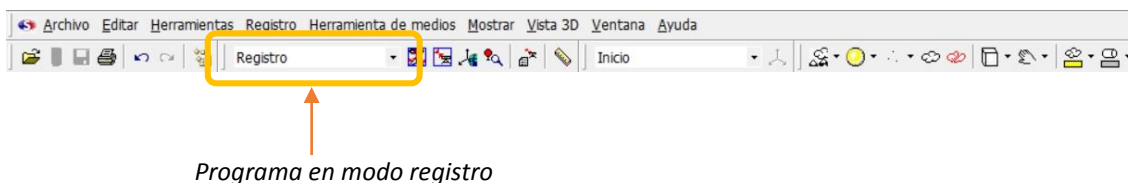
• Georreferenciación de la nube

Al crear un proyecto láser escáner, cualquier observación dentro de él estará dotada de unas coordenadas internas propias del equipo. Lo que se hace con la georreferenciación es llevar esas coordenadas a un sistema de coordenadas terrestres ya existente.

En el caso del presente PFC se realizó, como ya se ha comentado anteriormente, una toma de datos de las dianas de puntería por medio de topografía clásica, mediante las cuales se podrá girar y trasladar el proyecto al sistema de coordenadas que interese. Este método se conoce como georreferenciación indirecta.

Para poder llevar a cabo este proceso hace falta un mínimo de tres puntos de referencia, lo cual no supuso ningún problema ya que se pudieron materializar ocho de las diez dianas de puntería. El proceso fue el que se describe a continuación:

Se pone de nuevo el programa en modo *Registro*



Programa en modo registro

A continuación se abre el área de trabajo para georreferenciar.

Main Menu → Registro → Herramienta Georreferenciamiento

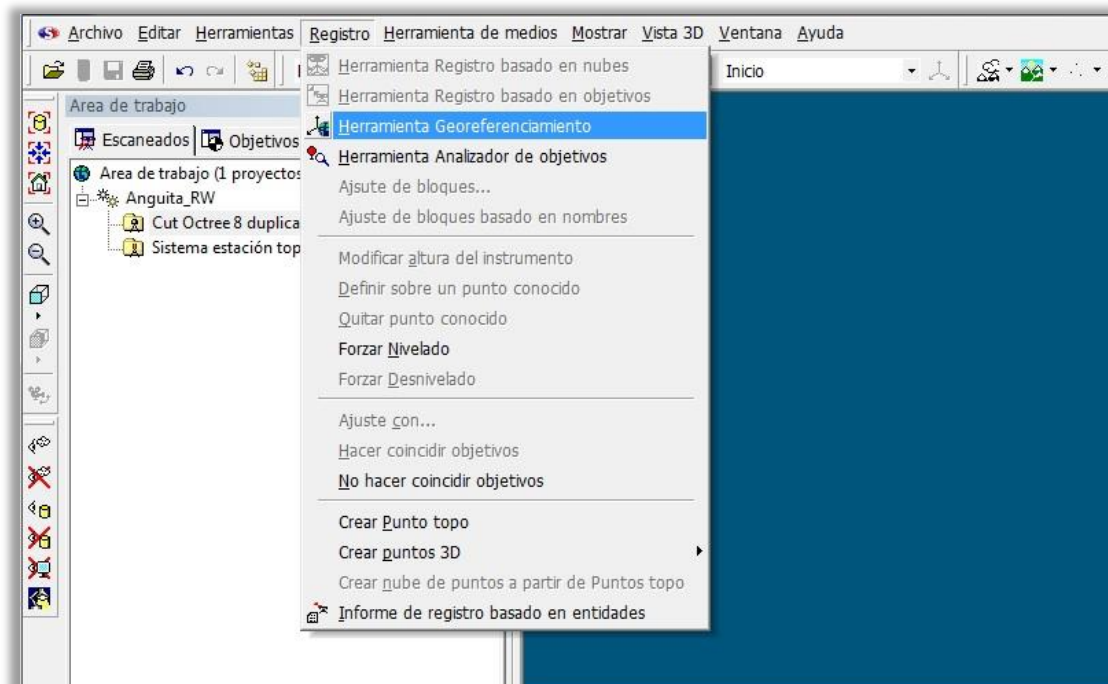


Ilustración 148. Herramienta georreferenciamiento

Se abrirá una ventana de trabajo donde aparecerán todas las dianas de puntería creadas en el apartado anterior.

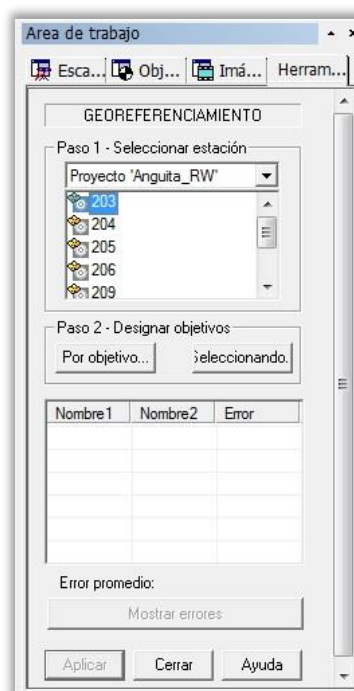


Ilustración 149. Área de trabajo de la georreferenciación

Con la diana de puntería seleccionada se abren dos caminos para dotar de coordenadas a la nube de puntos:

- *Por objetivo:* donde se seleccionan las dianas que aparecen en el recuadro y se introducen de forma manual las coordenadas ya calculadas de cada una.
- *Por selección:* en vez de seleccionar la diana del recuadro, se va a la nube de puntos, se selecciona la diana deseada y se introducen igualmente las coordenadas ya calculadas.

En el caso del presente PFC la asignación de coordenadas se ha realizado *Por objetivo*.

A continuación se abrirá una ventana con la diana seleccionada y los campos de las componentes X, Y, Z de la misma donde introduciremos las coordenadas calculadas por topografía clásica en ETRS89, que habrán de introducirse en mm.

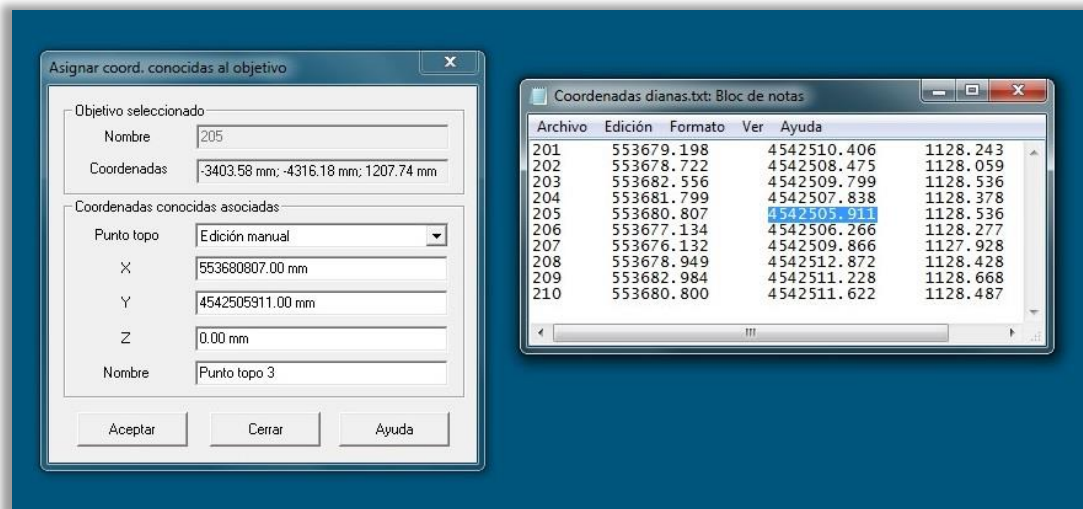


Ilustración 150. Asignación de coordenadas ETRS89 a las dianas de puntería

Una vez introducidas todas las coordenadas de las dianas de puntería, aparecerá un error promedio en milímetros. En caso de dar dicho valor por válido se aplicará la transformación.

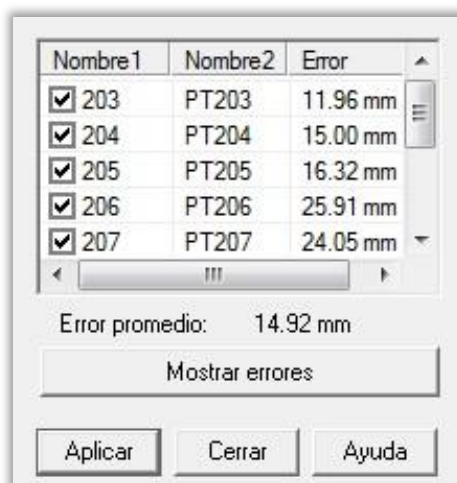


Ilustración 151. Error promedio en la fase de asignación de coordenadas

Teniendo en cuenta que la precisión del equipo láser escáner utilizado puede ser de hasta dos centímetros, se da por válido el error obtenido, se aplica la transformación a la nube y se procede a la comprobación del proceso llevado a cabo. Para ello se cierra la ventana de georreferenciación y se abre el cuadro de propiedades de cada diana de puntería creada:

Botón derecho del ratón sobre la diana en el árbol de trabajo → Propiedades

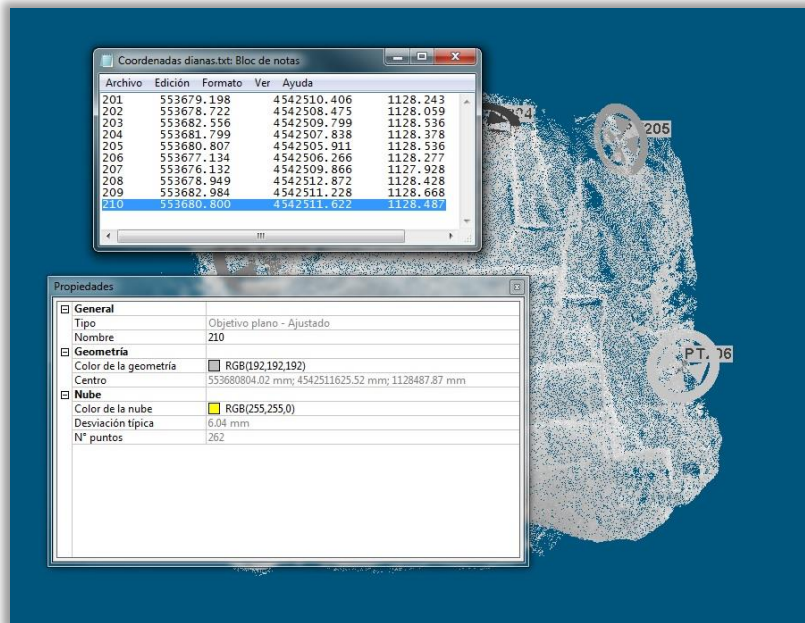


Ilustración 152. Comprobación de coordenadas

Una vez abierto el cuadro de propiedades de las dianas de puntería, se comprueba que las coordenadas previas al proceso de georreferenciación, asignadas por el propio escáner y del orden del metro, se han transformado en coordenadas ETRS89. Además, estas coordenadas se compararán con las obtenidas por topografía clásica para comprobar que el error en cada una de ellas no supera la precisión del proyecto.



Ilustración 153. Nube de puntos con dianas de puntería georreferenciadas

- **Creación de mallas**

Esta fase del proyecto es la más delicada y compleja, en la que el programa emplea complejos algoritmos para crear una malla, la cual está compuesta por triángulos irregulares que utilizan como vértices los puntos de la nube importada.

Para poder crear dicha malla, es necesario haber realizado un correcto registro de los escaneos y haber depurado correctamente la nube de puntos obtenida, ya que si no, será muy complicado editarla.

El primer paso será cambiar el programa a modo *Office Survey*.



Programa en modo Office Survey

La siguiente fase será abrir la herramienta de creación de mallas. Para ello:

Main Menu → Office Survey → Herramienta Creación de mallas

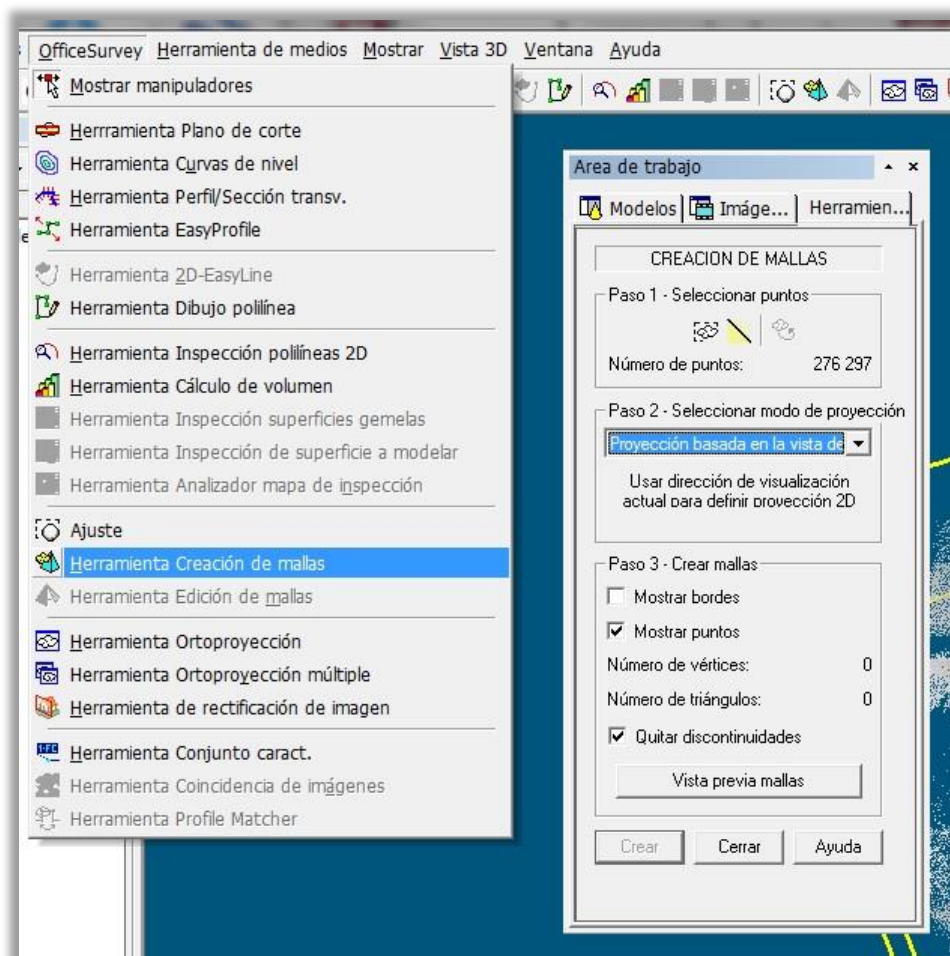


Ilustración 154. Herramienta creación de mallas

Se abre la ventana del área de trabajo de la creación de mallas.

En el primer paso se elige la herramienta a utilizar: *muestreo* de la nube, o *segmentación* de la nube. En la primera de las opciones se ha decidido aplicar un muestreo espacial de 30mm, reduciendo notoriamente el número de puntos, ya que la georreferenciación ya está realizada con éxito y si la densidad de la nube es muy alta puede resultar una malla demasiado pesada y dificultar el trabajo de edición. En la segunda opción se acciona la herramienta *segmentación*, y se selecciona la parte de la nube de puntos que se desea mallar.

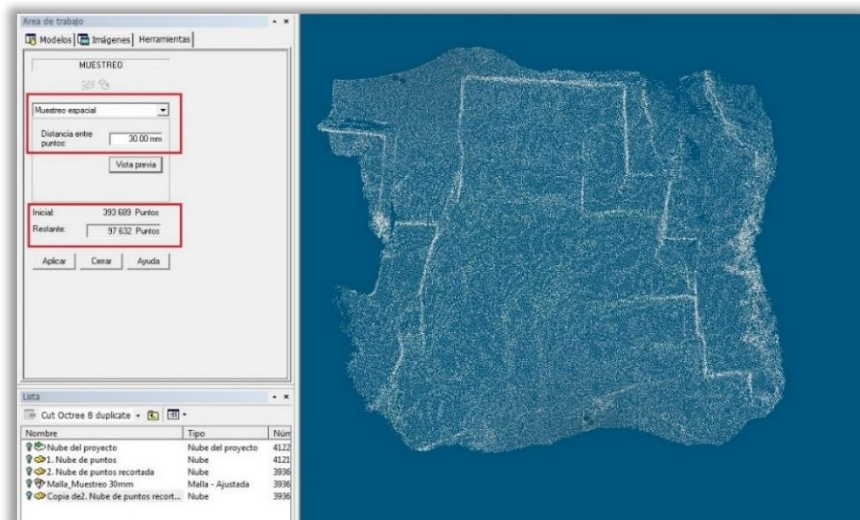


Ilustración 155. Muestreo espacial de la nube

Hay que recordar que siempre se debe realizar cualquier proceso sobre una copia de seguridad de la nube de puntos, ya que si el mallado no resulta como se esperaba, se puede perder.

El segundo paso será seleccionar el tipo de proyección con el que se desea trabajar. En el caso del presente PFC se ha elegido trabajar sin ninguna proyección.

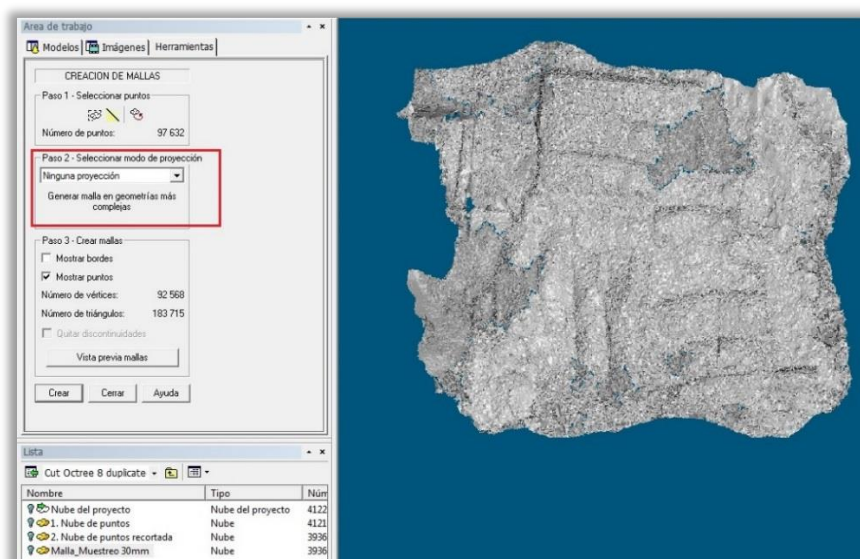


Ilustración 156. Vista previa de la malla

El tercer paso es el de crear la malla, para lo cual se pulsa sobre el botón *Vista previa mallas*. El proceso puede llevar más o menos tiempo en función de la densidad de puntos del proyecto, y una vez finalizado solo restará pulsar el botón *Crear*.

Realizado el proceso aparecerá en nuestro árbol de trabajo la malla creada.

Esta malla obtenida está en estado bruto y a continuación hay que tratarla y depurarla para obtener un resultado óptimo.

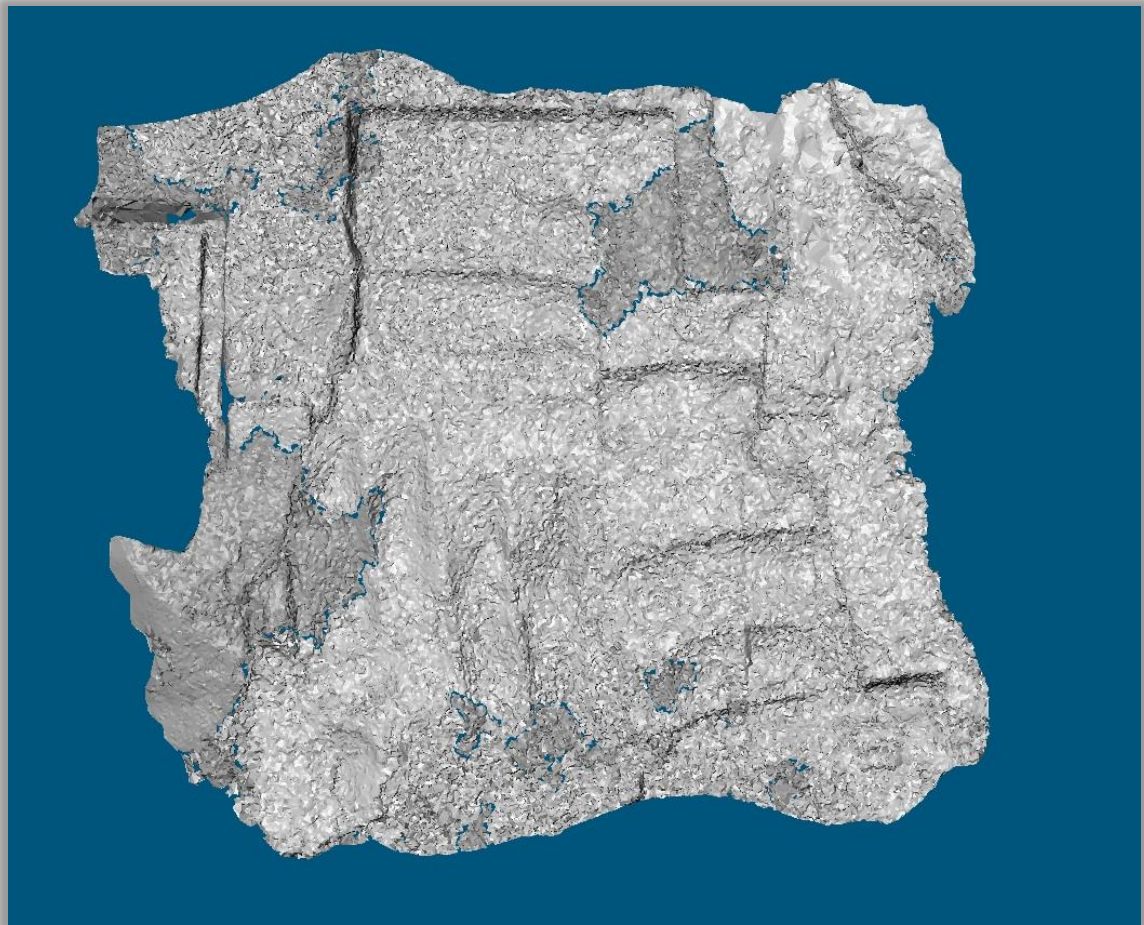


Ilustración 157. Mallado bruto de la nube de puntos

- **Edición de mallas**

Con esta herramienta y su utilización de forma minuciosa, se obtendrá un resultado continuo y homogéneo de la malla creada, aunque puede resultar un proceso largo en función de la calidad del registro y del muestreo realizado, así como de la accidentalidad del terreno.

En primer lugar hay que conocer las distintas opciones que se tiene para optimizar el mallado:

- *División de triángulos*: Se utiliza para mejorar la resolución del mallado por interpolación geométrica aumentando el número de triángulos.
- *Suavizado*: suaviza los picos que pueda tener la malla, dándole un aspecto más fluido. Se recomienda pulsar dos o tres veces para mejorar el resultado.
- *Eliminación de crestas*: Debido a la excesiva existencia de puntos, pueden generarse crestas que enturbien el modelo. Éstas han de eliminarse de la malla.
- *Orientación de las normales*: Un triángulo puede tener una normal positiva hacia el exterior y otra negativa hacia el interior, por ello, orientando las normales de los triángulos se define la orientación tridimensional del modelo.

Para tratar la malla con las soluciones anteriormente mencionadas se dispone de herramientas de selección.

- Selección de elementos
- Selección de vértices
- Selección de bordes
- Selección de triángulos
- Selección de áreas: para áreas más extensas

El proceso a seguir es el siguiente:

Main Menu → Office Survey → Herramienta Edición de mallas

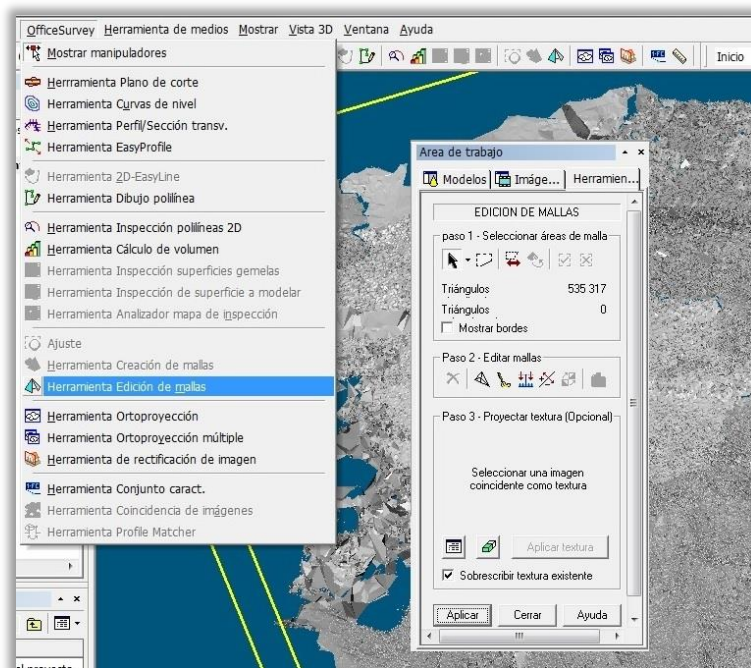


Ilustración 158. Herramienta Edición de mallas

Se abrirá la ventana de área de trabajo de edición de mallas, donde se encontrarán las herramientas y soluciones anteriormente mencionadas. En el primero de los pasos se elige el modo de selección de elementos y se procede a marcarlos en la malla. En el segundo se aplican las correcciones pertinentes a los elementos seleccionados, ya sea la división de triángulos, suavizado, crestas u orientación de triángulos. El tercer y último paso antes de aplicar los cambios realizados es la *Proyección de textura*, aunque ésta es opcional y en el caso de este proyecto se realizará más adelante.

A continuación se mostrarán algunos de los problemas citados:

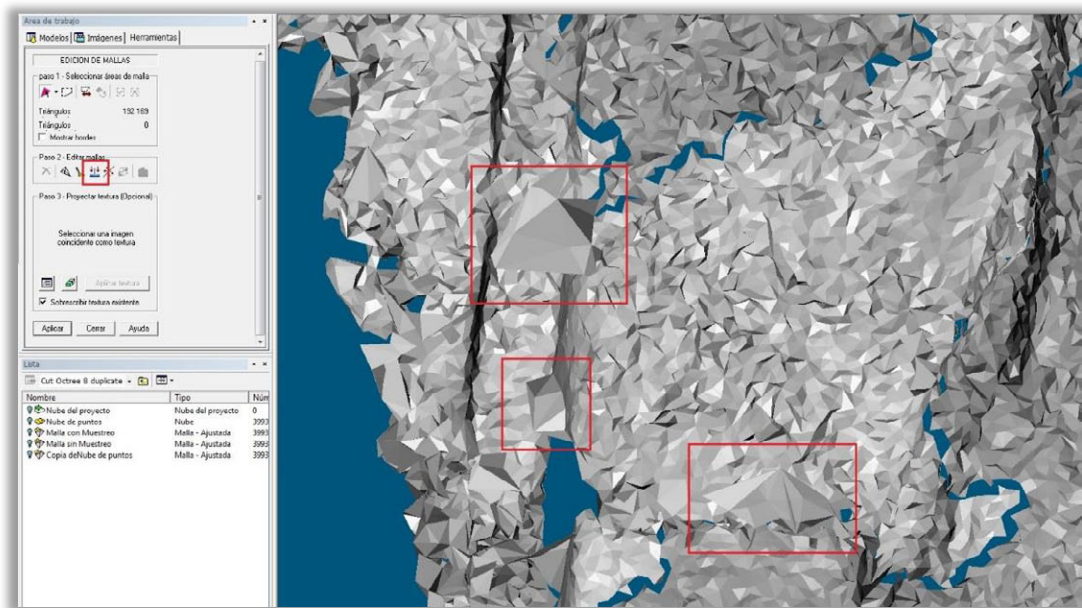


Ilustración 159. Crestas de la malla

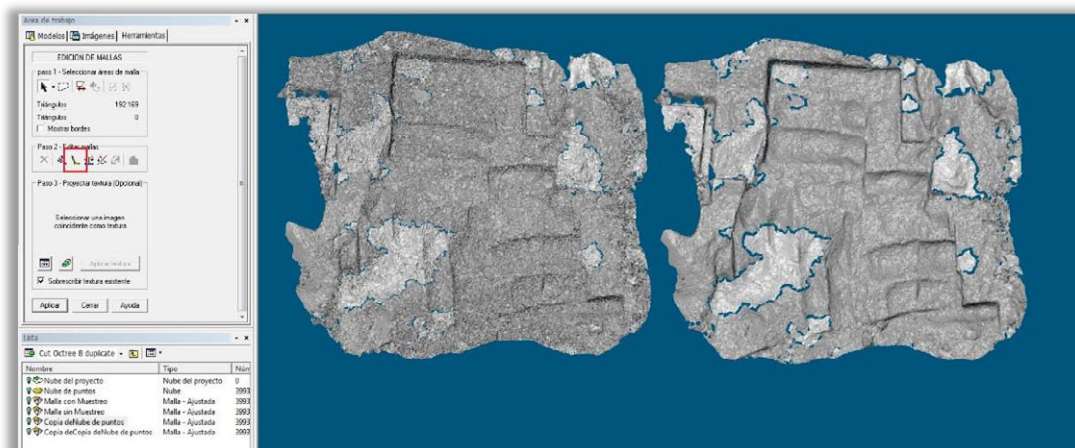


Ilustración 160. Suavizado de la malla

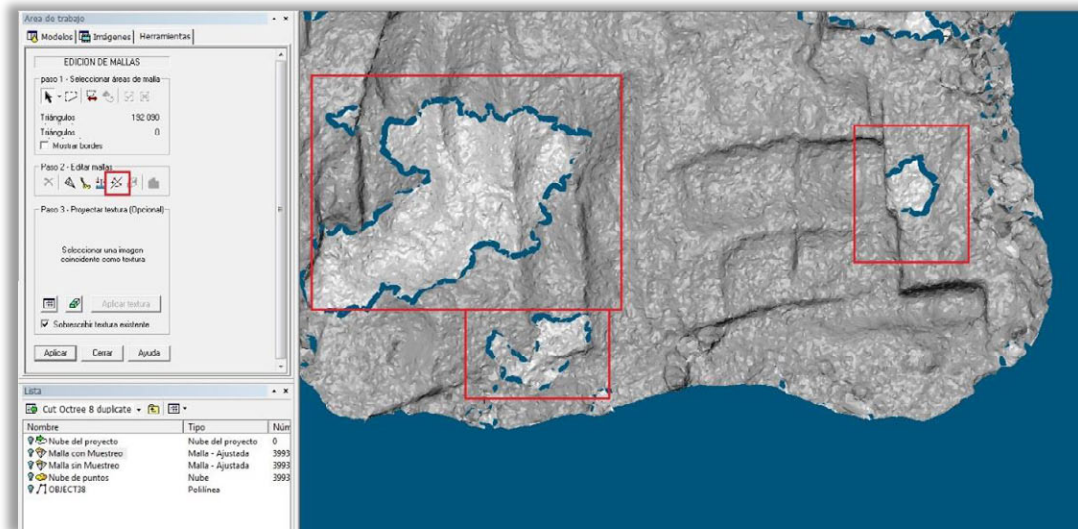


Ilustración 161. Inversión de triángulos

En este último caso, *inversión de la normal de los triángulos*, puede resultar de gran ayuda el hecho de cambiar de color la malla para ver con mejor claridad los triángulos que estén invertidos, ya que el color que se le asigna, sólo se ve reflejado en el lado de la normal positiva del triángulo. Este pequeño cambio puede favorecer mucho nuestro trabajo ya que es difícil diferenciar el tono de gris de la cara que contiene la normal positiva del triángulo de la negativa.

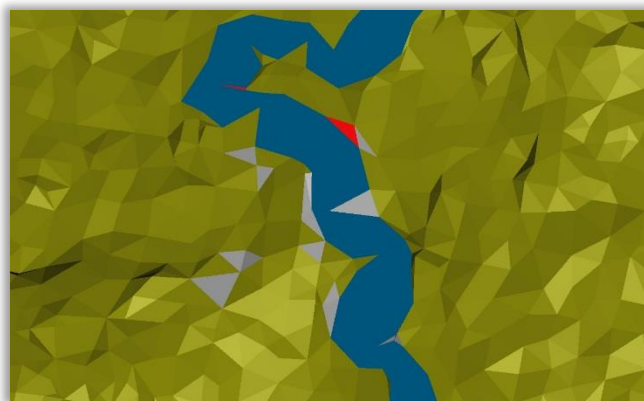


Ilustración 162. Cambio de color de la malla

- **Tratamiento de huecos**

Otro paso importante en la edición de la malla de una nube de puntos es el tratamiento de los huecos existentes debido a la insuficiencia de puntos en esa zona. Esto significa que el equipo láser escáner no ha podido registrar esos puntos en el momento de la toma de datos por distintos motivos, por ejemplo, obstáculos en la parcela.

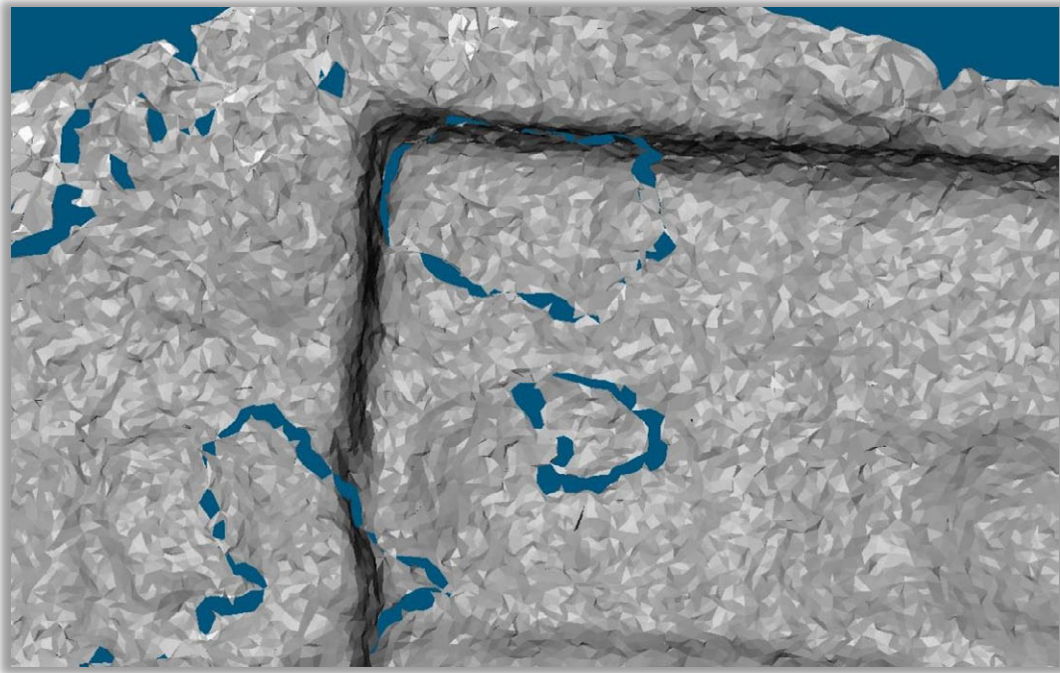


Ilustración 163. Huecos en el modelo

En este proyecto se explicarán dos caminos para la corrección de estos huecos:

- Cosido de la malla: Consiste en unir con una polilínea los huecos existentes en la malla generada, formando con ella nuevos triángulos que el programa no ha podido generar. Para ello se tendrá que poner el programa en modo *Office Survey* y visualizar la malla con estructura alámbrica.



Programa en modo Office Survey

*Representación de la Geometría
(Estructura alámbrica)*

A continuación se abre la herramienta de cosido. Para ello:

Main Menu → Office Survey → Herramienta Dibujo polilínea

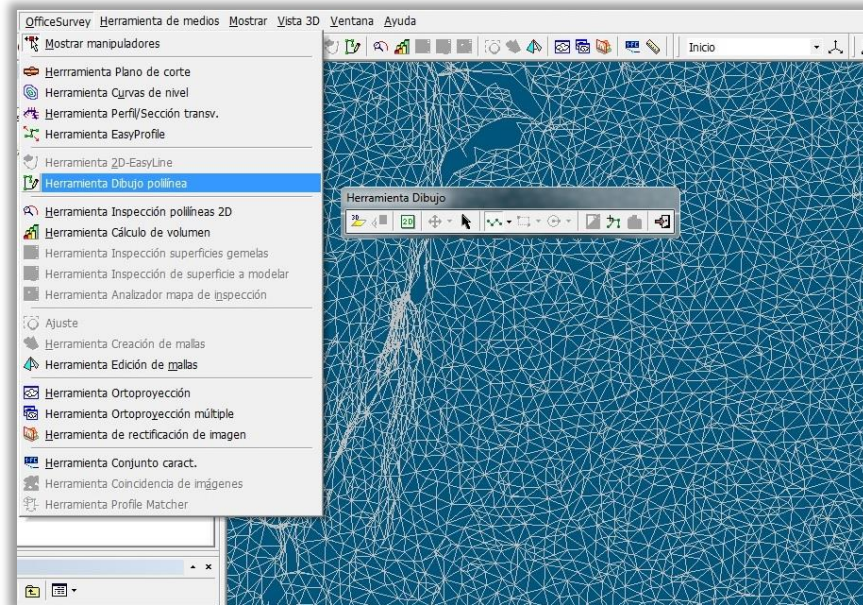


Ilustración 164. Herramienta Dibujo polilínea

Se abre la herramienta de dibujo donde se selecciona la herramienta polilínea y se comienza a unir los vértices de los triángulos que delimitan la zona sin malla.

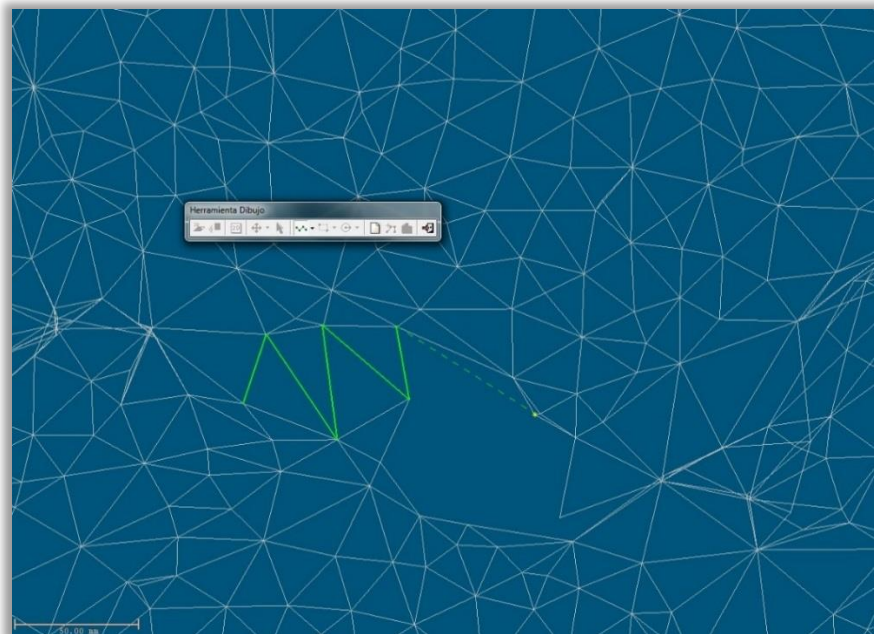


Ilustración 165. Cosido de la malla

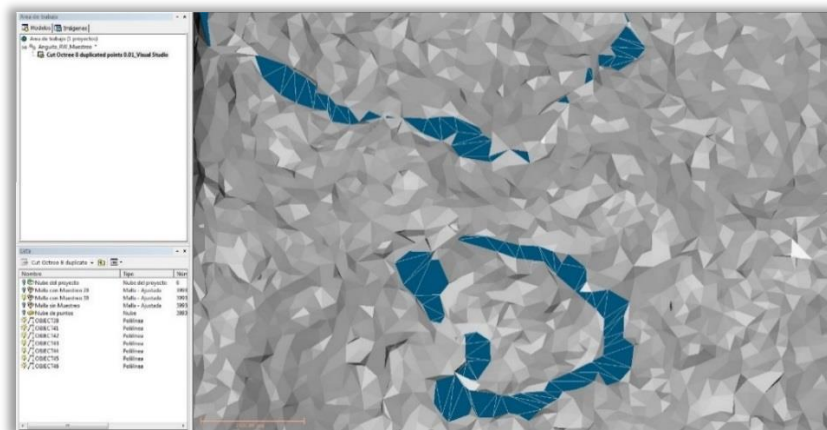


Ilustración 166. Resultado del tratamiento de huecos mediante el método “cosido de la malla”

Este es un proceso lento ya que hay que depurar triángulo por triángulo.

- **Creación de nuevas mallas:** consiste en segmentar la nube de puntos en las zonas con huecos y realizar un nuevo mallado de esas áreas. El procedimiento es el mismo que el del apartado “Creación de mallas”.

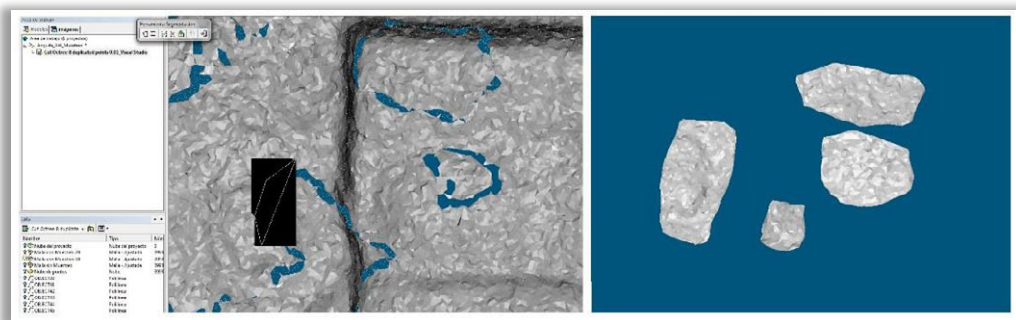


Ilustración 167. Creación de nuevas mallas

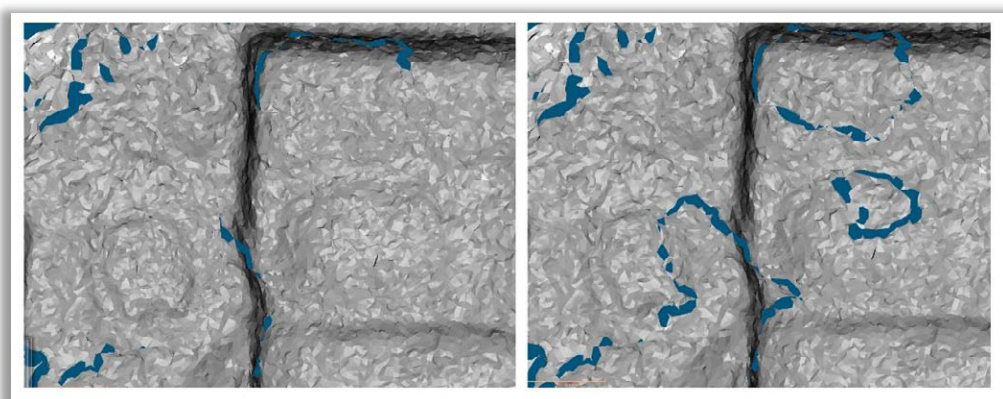


Ilustración 168. Resultado del tratamiento de huecos mediante el método “creación de nuevas mallas”

Con esta tarea se da por finalizada la edición de mallas.

- **Asignación de textura**

Mediante este proceso se va a conseguir que el modelo obtenido tenga un aspecto más realista. Esto se lleva a cabo gracias a las imágenes tomadas el día de la toma de datos con la cámara calibrada del equipo láser escáner.

Para ello se deberá incorporar al programa las fotografías necesarias, que en el caso de este proyecto se encontrarán en la carpeta creada por el programa Riscan Pro en el momento de la medición.

Este trabajo se realizará seleccionando la pestaña *Imágenes* en vez de la pestaña *Modelos* dentro del área de trabajo, y a continuación arrastrando sencillamente las imágenes dentro de la ventana *Lista*.

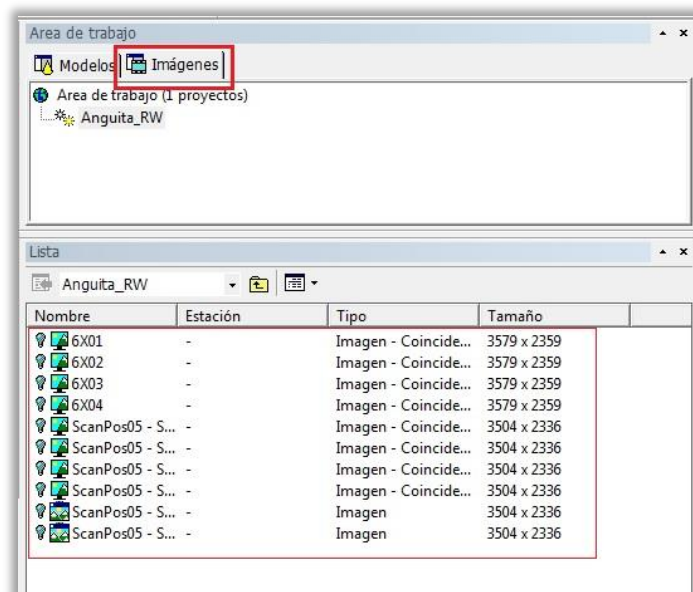


Ilustración 169. Importación de imágenes en el programa Realworks

A continuación, con el programa en modo *Office Survey*, se georreferencian las imágenes. Para ello se sigue el siguiente proceso:

Main Menu → Office Survey → Herramienta Coincidencia de imágenes



Modo Office Survey

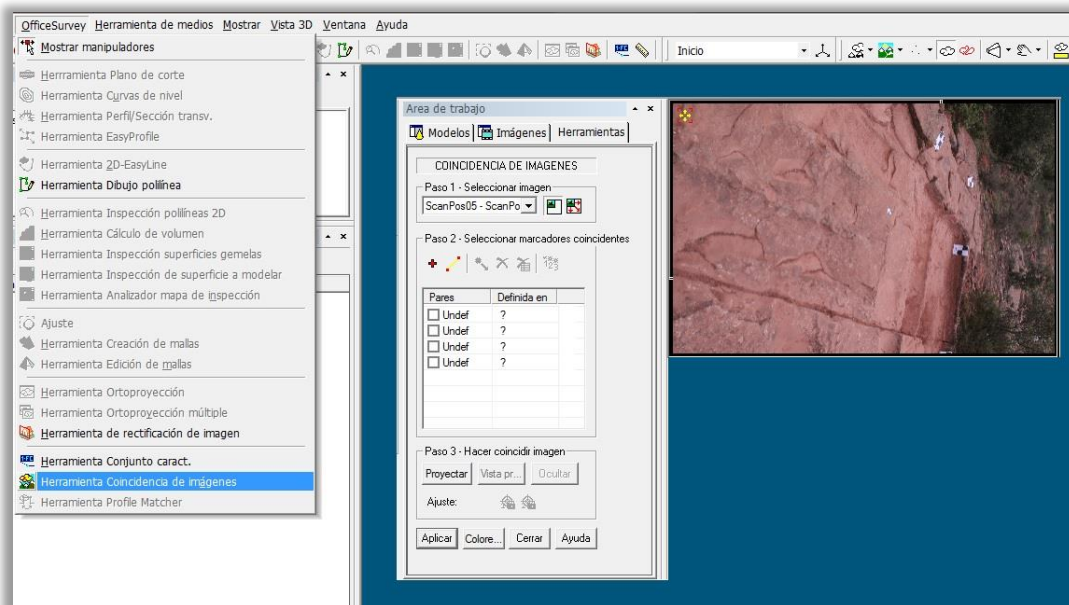


Ilustración 170. Herramienta Coincidencia de imágenes

Al abrirse la ventana de trabajo de la herramienta *Coincidencia de imágenes*, se podrá georreferenciar las imágenes para su posterior asignación a la malla.

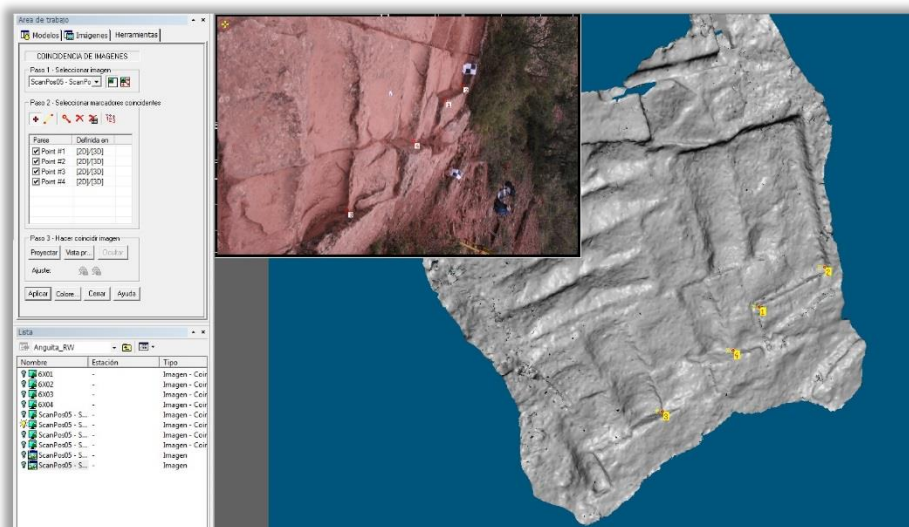


Ilustración 171. Proceso de georreferenciación de imágenes

Para poder llevar a cabo este proceso será necesario señalar puntos comunes entre el mallado y la imagen en cuestión. Para ello, en la ventana área de trabajo se encontrarán los comandos necesarios, y se podrán marcar elementos comunes mediante puntos y líneas. Harán falta un mínimo de cuatro puntos para georreferenciar la imagen, pero cuantos más puntos se marquen, más preciso será el proceso. Este procedimiento se llevará a cabo con todas las imágenes que queramos añadir como textura al modelo.

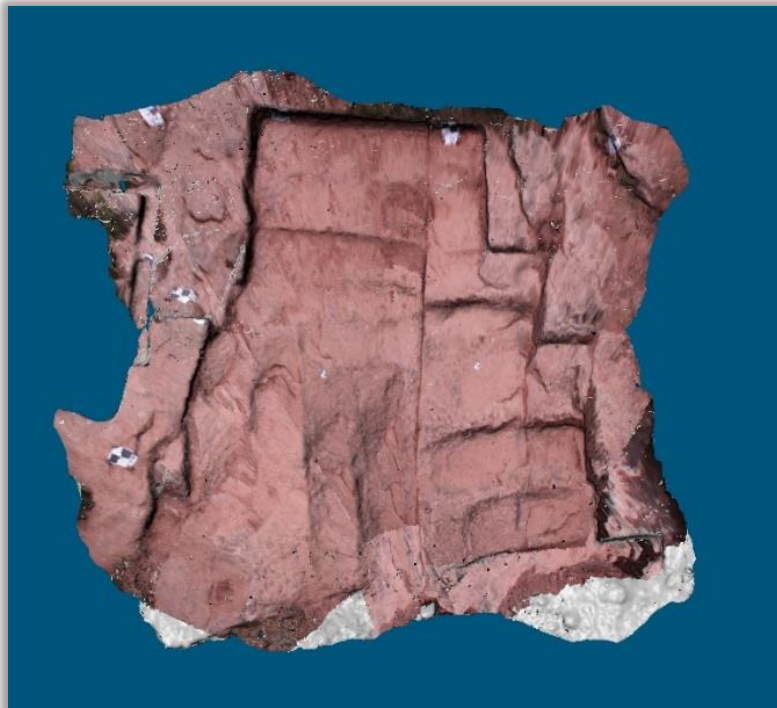


Ilustración 173. Modelo con textura deformado por el ángulo de visión

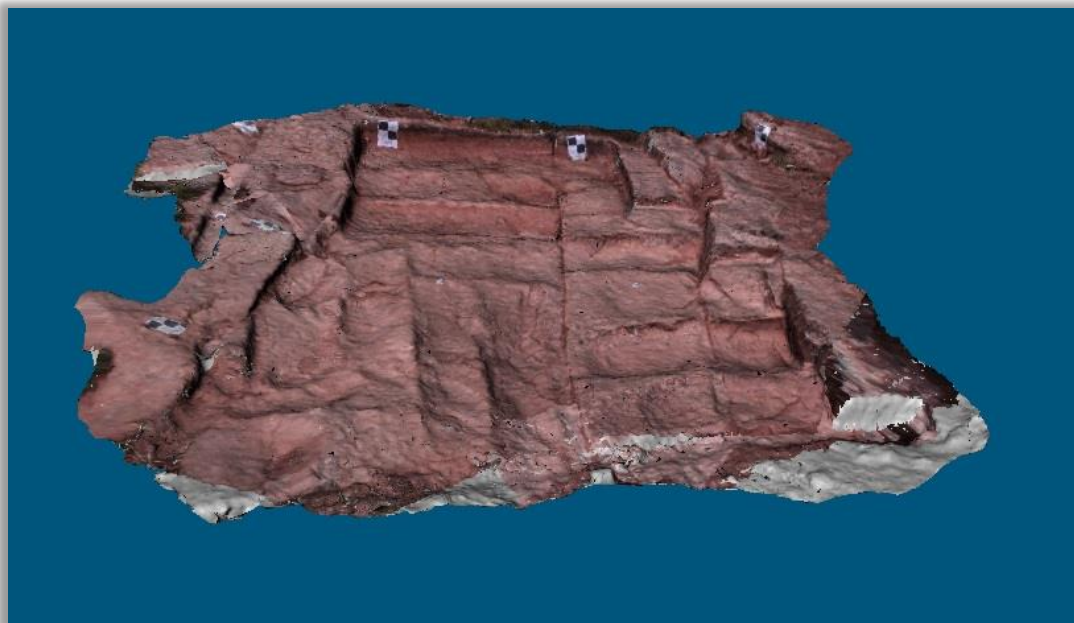


Ilustración 174. Modelo con textura con el ángulo de visión del láser escáner en el momento de la toma de datos

Una vez finalizados todos estos pasos se puede dar por concluida la creación y edición del modelo tridimensional láser escáner del yacimiento estudiado en roca fosilizada del periodo triásico. A continuación se muestran los modelos obtenidos:

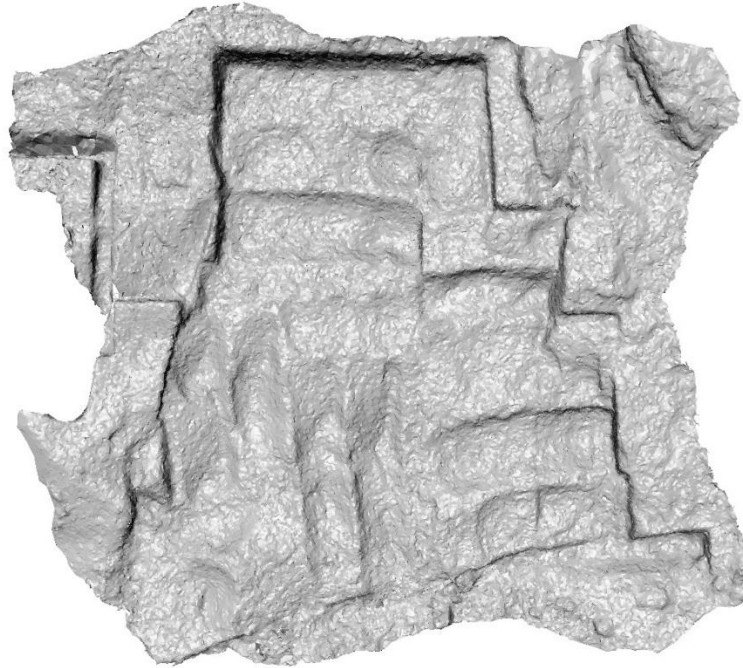


Ilustración 175. Anverso de la modelización 3D láser escáner de un yacimiento fosilizado en roca del periodo triásico



Ilustración 176. Reverso de la modelización 3D láser escáner de un yacimiento fosilizado en roca del periodo triásico



5.4. ESTUDIO DE PRECISIONES

Para verificar la calidad del resultado final es necesario realizar un estudio de precisiones. Una vez terminado el modelado del yacimiento se debe hacer un estudio de los errores cometidos durante todo el proceso, y para ello se deben analizar todos los factores que hayan podido afectar a la precisión del proyecto.

- Errores cometido con el equipo láser escáner Riegl LMS-Z420i
 - Error cometido en el proceso de toma de datos en campo.
 - Error cometido en el registro de los diferentes escaneados.
- Error cometido durante la georreferenciación de la nube de puntos
 - Error cometido en el cálculo de las coordenadas cartesianas de las dianas de puntería
 - Red geodésica para dotar de coordenadas a los puntos de estación.
 - Red topográfica para dotar de coordenadas a las dianas de puntería.
 - Error cometido en el proceso de georreferenciación con el programa Realworks

El error final se calculará mediante la composición cuadrática de la desviación estándar obtenida en cada uno de los apartados anteriores.

- Precisión interna del modelo:

Es el error asociado a la medición con el equipo láser escáner, desde la toma de datos en campo hasta el registro de los escaneados con el programa Riscan Pro.

Precisión del equipo láser escáner, que se traduce en la precisión de cada nube de puntos:

- *Precisión:* 10mm
- *Error de exactitud o repetitividad:* 8mm
- *Divergencia del haz:*
0.25mrad, que corresponde a un rayo láser de 25mm cada 100m.
En el caso del yacimiento la distancia máxima calculada es de 10m, por lo que el error cometido es de 2,5mm.
- *Error angular:*
Error vertical de 0.002° y error horizontal de 0.0025°
Sabiendo que $360^\circ = 2\pi R$ donde $R = 10m$
 $360^\circ = 2\pi 10.000 = 62832mm$
Por tanto 0.002° equivaldrá a un error de 0.35mm y 0.0025° equivaldrá a un error de 0.44mm.
La componente cuadrática de ambos errores constituye el error angular total del equipo con una magnitud de 0.56mm. Al estar situada por debajo del milímetro este error se puede omitir.

Precisión del registro de escaneados:

- Desviación estándar del registro: 0.012m

La precisión interna del modelo será la componente cuadrática de la precisión propia del equipo láser escáner y de la precisión del registro con el programa Riscan Pro:

Precisión del equipo láser escáner:

$$E_{LS} = \sqrt{10^2 + 8^2 + 2,5^2} = 13\text{mm}$$

Precisión del registro:

$$E_r = 12\text{mm}$$

Precisión interna del modelo:

$$E_M = \sqrt{13^2 + 12^2} = 18\text{mm}$$

- Precisión externa del modelo (precisión de la georreferenciación):

Es el error asociado al cálculo de coordenadas ETRS89 mediante técnicas GPS y topografía clásica de las dianas de puntería escaneadas en el yacimiento y utilizadas para georreferenciar el modelo creado, así como el propio proceso de georreferenciación con el programa Realworks.

- Precisión de la red geodésica calculada con Leica Geo Office: 18mm
- Precisión de la red topográfica calculada con Topcal: 20mm
- Precisión de la diana:

$$E_D = \sqrt{18^2 + 20^2} = 27\text{mm}$$

- Precisión del proceso interno de georreferenciación con el programa Realworks: 15mm
- Precisión del proceso global de georreferenciación o precisión externa del modelo::

$$E_G = \sqrt{27^2 + 15^2} = 31\text{mm}$$

- Precisión total del modelo:

La precisión total del bloque será la componente cuadrática de la precisión interna del modelo y la precisión externa del mismo.

$$E_T = \sqrt{18^2 + 31^2} = 35\text{mm}$$

La precisión total del proyecto llevado a cabo es de 3,5cm.

Como conclusión de este estudio de precisiones se puede decir que se ha conseguido una calidad del proyecto válida para los fines del PFC, obteniendo una precisión interna del modelo de 18mm y una precisión en cuanto a localización de 31mm.



6. VISUALIZACIÓN DE PRODUCTOS FINALES



6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez finalizado el modelo, con la malla creada, editada y texturizada, se puede rentabilizar todo el tiempo invertido. Es en este momento en el que se pueden mostrar los resultados finales que interesan al cliente. Este proceso es mucho menos largo y menos laborioso, ya que en poco tiempo se pueden obtener curvas de nivel, ortoimágenes, cálculo de volúmenes, secciones y demás productos que sean requeridos.

Para este proyecto, los productos finales que se presentarán son los siguientes:

- Ortoproyección del modelo tridimensional
- Plano del yacimiento con curvas de nivel
- Modelo texturizado
- Obtención de medidas de interés del yacimiento
- Obtención de volúmenes del yacimiento
- Secciones del modelo tridimensional
- Vídeo del modelo tridimensional

6.2. ORTOPROYECCIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL

Debido a la imposibilidad de asignar una imagen ortogonal al modelo, ya que únicamente se dispone de fotografías con un ángulo de visión muy acusado y éstas se deformarían groseramente en el mallado, se visualizará únicamente su ortoproyección sin texturizar.

Una ortoproyección es una proyección en la cual se pueden realizar mediciones al ser una representación precisa de la realidad.

Normalmente va texturizado con una imagen, pero por los motivos mencionados al principio del apartado, en este proyecto sólo se representará el mallado.

Para crear una ortoproyección, Realworks dispone de una herramienta diseñada para ello. El proceso se describe a continuación:

Con el programa en modo *Office Survey*

Main Menu → Office Survey → Herramienta Ortoproyección



Modo Office Survey

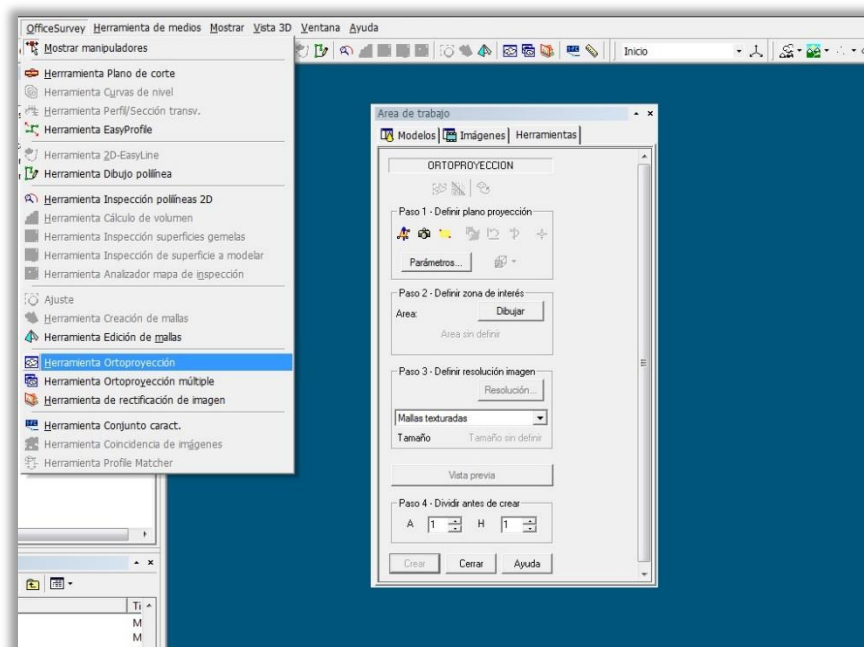


Ilustración 177. Herramienta Ortoproyección

En primer lugar habrá que cambiar el color de la malla, ya que al obtener la ortoproyección sobre fondo blanco, el tono gris asignado por defecto a la misma no destaca debidamente. Se ha elegido un color tierra. Además se orientará el modelo para obtener una ortoproyección orientada.

En el primer apartado, *definir plano de proyección*, se definirá el tipo de plano que se desea para llevar a cabo la proyección:

- Seleccionando tres puntos de la malla
- Definiendo el plano según la vista de pantalla
- Seleccionando las esquinas de la zona de interés

Una vez seleccionado el plano de proyección se podrá editar, modificando sus dimensiones, girándolo o cambiando sus parámetros.

En el caso del presente PFC se eligió un plano según la *vista de pantalla con vista frontal*.

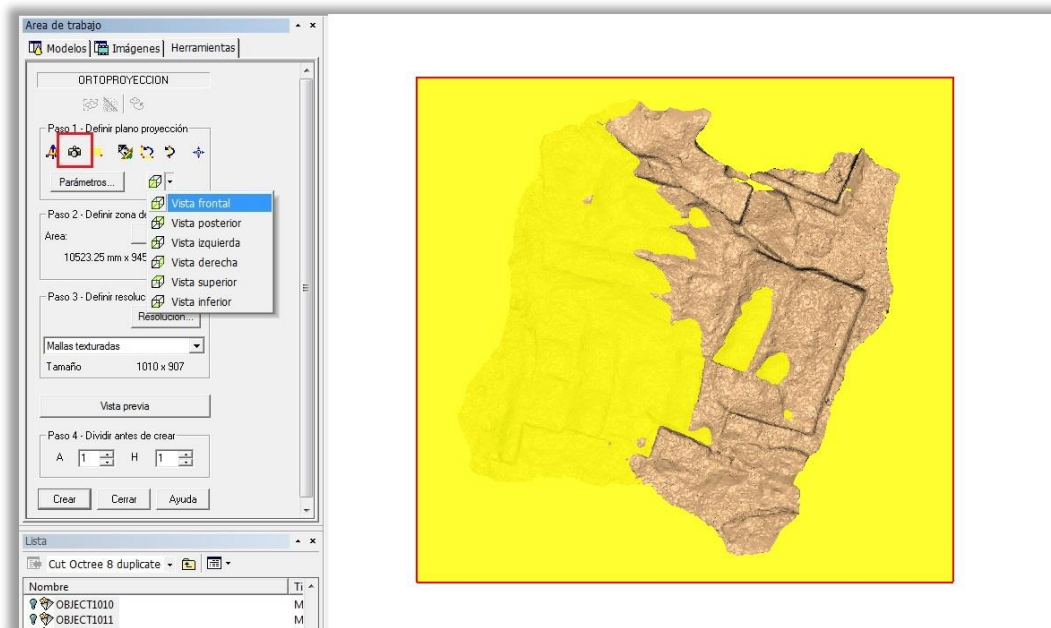


Ilustración 178. Creación de la Ortoproyección: plano de proyección



Ilustración 179. Creación de la Ortoproyección: parámetros del plano

En el segundo apartado, *definir zona de interés*, se delimitará con un cuadro la zona sobre la que se hará la ortoproyección.

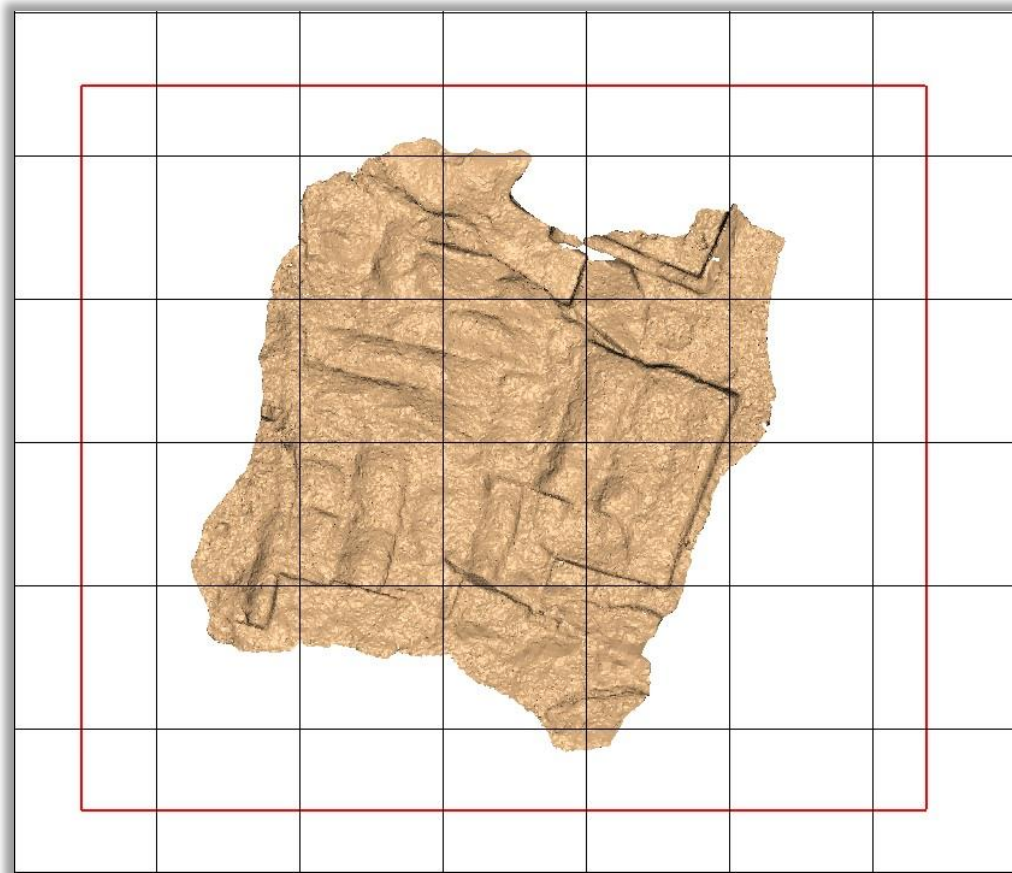


Ilustración 180. Creación de la Ortoproyección: zona de interés

En el tercer apartado, *definir resolución imagen*, se puede cambiar la resolución de la imagen de salida a la que se desee, así como seleccionar entre malla con o sin textura. Como ya se ha comentado al principio del apartado, para este proyecto no se ha adquirido ninguna textura, así que, aunque en la ventana desplegable aparece *Mallas texturadas*, por defecto se muestra la malla sin texturizar.



Ilustración 181. Creación de la Ortoproyección: resolución de la imagen

También se puede obtener una vista previa del resultado final de la ortoproyección.

En el cuarto apartado, *dividir antes de crear*, se puede dividir la imagen en fragmentos más pequeños. Esta opción no se ha utilizado para el presente proyecto.

Con todas las características seleccionadas sólo resta crear la ortoproyección, que se guardará junto con las demás imágenes del proyecto.

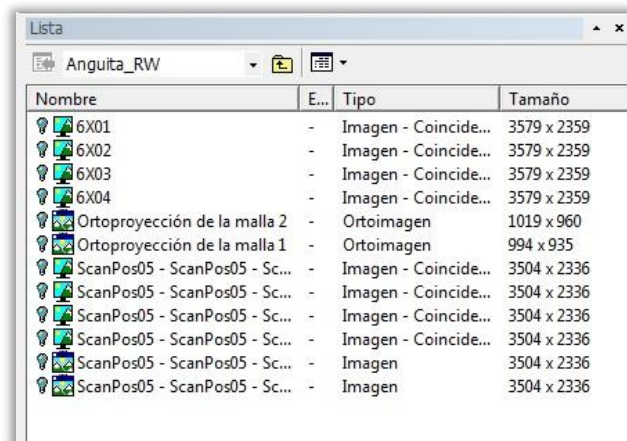


Ilustración 182. Creación de la Ortoproyección: imagen creada

A continuación se exporta la imagen obtenida a un programa de CAD, donde se editará la cartela para su posterior impresión en formato A2. El programa elegido para esta última fase de la ortoproyección como producto final del proyecto es Autocad 2016.

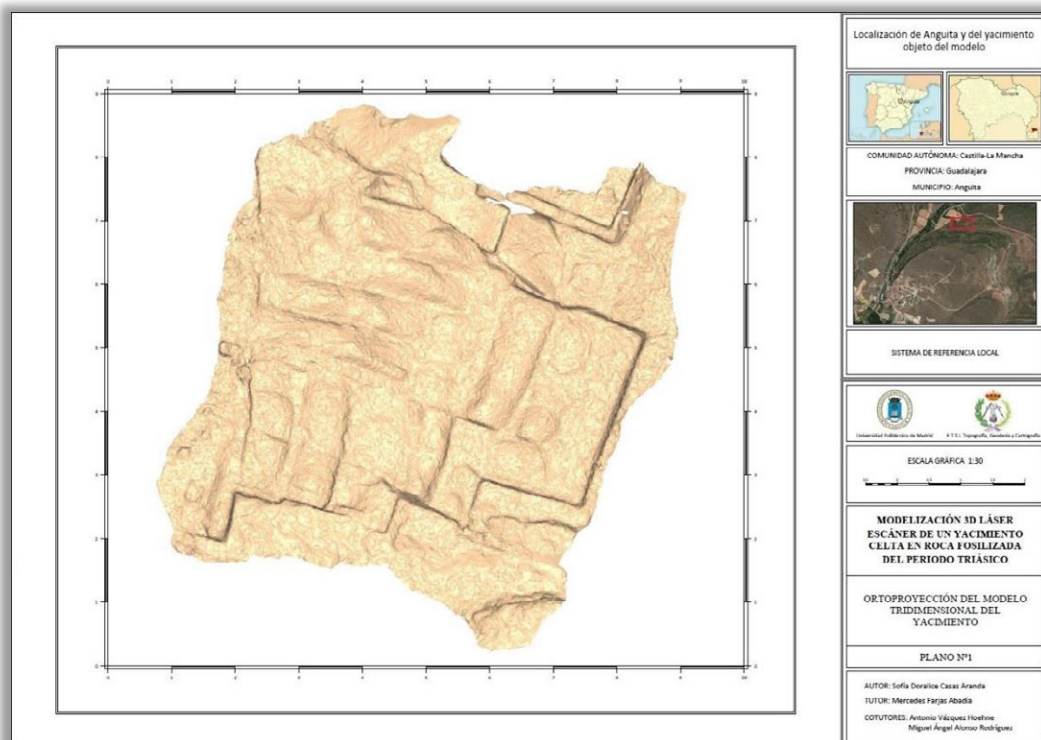


Ilustración 183. Ortoproyección del modelo

6.3. PLANO DEL YACIMIENTO CON CURVAS DE NIVEL

En el apartado anterior se ha mostrado una ortoproyección sobre la que se pueden obtener mediciones directamente por estar exentas de distorsión alguna. De cara a obtener una información más completa del yacimiento, se efectuará también un plano con curvas de nivel.

Para representar las coordenadas planimétricas, se utilizará la ortoproyección anteriormente obtenida incorporando una cuadrícula con coordenadas en el sistema ETRS89 UTM30 a través de un programa de CAD.

En el caso de la altimetría, el proceso para la creación de las curvas de nivel se puede llevar a cabo de dos formas, bien a partir de la malla obtenida, bien a partir de la nube de puntos ya tratada. Dicho proceso es el mismo para las dos opciones, sin embargo el resultado final obtenido será más preciso en el caso de la nube que en el de la malla, ya que el hecho de curvar sobre una superficie triangulada, supone trabajar con datos ya procesados, y por tanto las curvas de nivel aparecerán menos suavizadas. Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar el objeto sobre el que trabajar es que, en el caso de la malla, no se pueden seleccionar junto a ella las mallas creadas para tratar los huecos, por lo que el resultado final del curvado quedará cortado en las zonas que no se pudieron registrar con el láser escáner. Por estos motivos, para este proyecto se decidió trabajar con la nube de puntos depurada.

El proceso es el que se detalla a continuación:

Con el programa en modo *Office Survey*

Main Menu → Office Survey → Herramienta Curvas de nivel

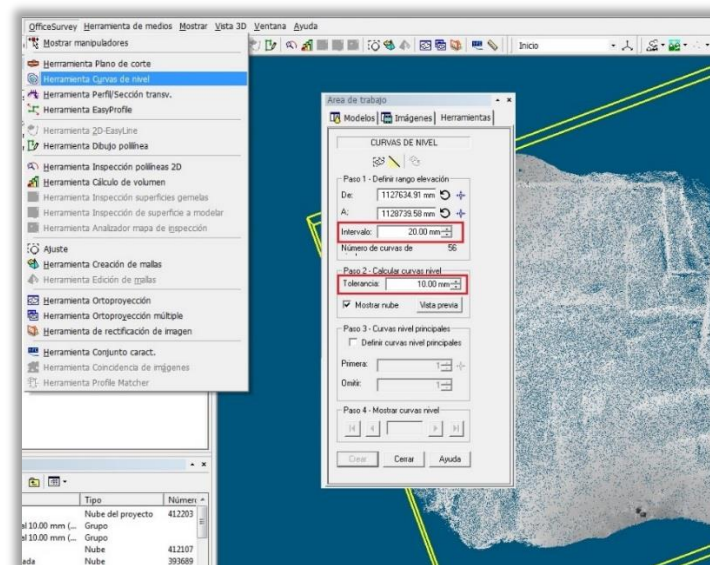


Ilustración 184. Herramienta Curvas de nivel

En el primer apartado, *definir rango de elevación*, se elegirá la mínima y máxima altitud del plano de curvas. Esto se puede llevar a cabo de varias formas: dejando por defecto los valores que aparecen, que es la mínima y máxima altitud del modelo; escribiendo los mínimos y máximos valores que se desean reflejar; o seleccionando manualmente sobre la nube los puntos que delimitarán el curvado. Además en este apartado se seleccionará el intervalo o equidistancia de las curvas de nivel y aparecerá, según los valores que introduzcamos, el número de curvas que se crearán.

En el caso de este proyecto se dejaron las altitudes por defecto y se calculó una distancia entre el mínimo y máximo valor del modelo de 1104.67mm. Teniendo en cuenta estas dimensiones se decidió que el número de curvas maestras sería 11, y por tanto, el número total de curvas sería 55.

Si se divide la distancia de 1104.67mm entre las 55 curvas que se pretende representar, se obtiene una equidistancia de 20.08mm, aproximando a 20mm.

Paso 1 - Definir rango elevación

De: 1127634.91 mm

A: 1128739.58 mm

Intervalo: 20.00 mm

Número de curvas de 56

Ilustración 185. Creación de curvas de nivel: rango de elevación

En el segundo apartado, *calcular curvas de nivel*, se elegirá la tolerancia que se aplicará al curvado a la hora de seleccionar los puntos que irán incluidos en una misma curva. Cuanto menor sea la tolerancia, más estricto será el programa a la hora de agrupar los puntos y más preciso será el resultado, teniendo a su vez siempre presente la cantidad de detalle que se querrá representar. En el caso de este curvado se ha seleccionado una tolerancia de 10mm.

Paso 2 - Calcular curvas nivel

Tolerancia: 10.00 mm

☒ Mostrar nube

Vista previa

Ilustración 186. Creación de curvas de nivel: tolerancia

En el tercer apartado, *curvas de nivel principales*, se elegirá si se desean o no curvas maestras que servirán de guía dentro del plano de curvas. En este caso se han seleccionado las maestras cada 5 curvas, ya que ayudan a leer el documento cartográfico.

Paso 3 - Curvas nivel principales

☒ Definir curvas nivel principales

Primera: 1

Omitir: 5

Ilustración 187. Creación de curvas de nivel: curvas maestras

El cuarto y último apartado, *mostrar curvas de nivel*, sirve para mostrar una curva de nivel en particular y su recorrido sobre el objeto.

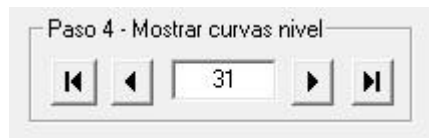


Ilustración 188. Creación de curvas de nivel: mostrar curvas de nivel

Con todos los parámetros seleccionados se crea el curvado que aparecerá en el árbol de trabajo como *Intervalo mapa transversal 20.00 mm*. Se le ha cambiado el nombre a *Curvado equidistancia 20 Tol 10*.

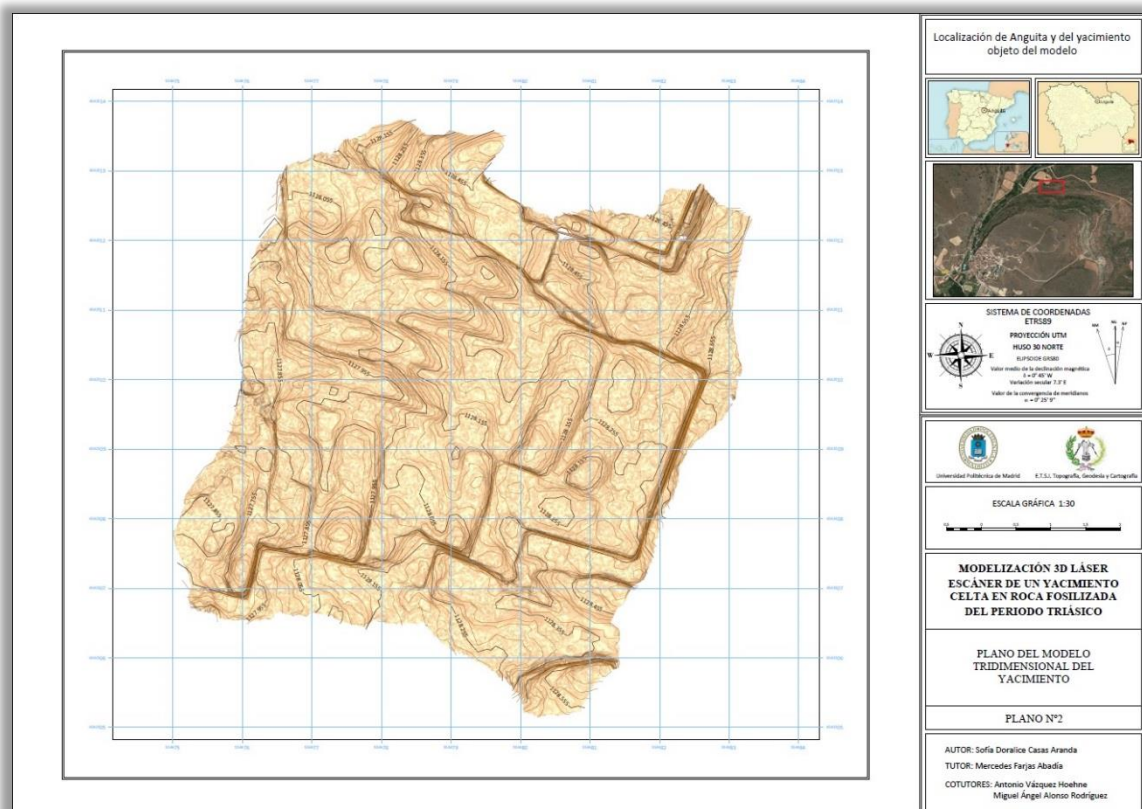


Ilustración 189. Plano del modelo tridimensional del yacimiento

6.4. MODELO TEXTURIZADO

En este apartado se mostrará el modelo obtenido en el proceso de edición de malla con la textura añadida por medio de las imágenes obtenidas con la cámara Canon EOS 20D del equipo láser escáner utilizado.

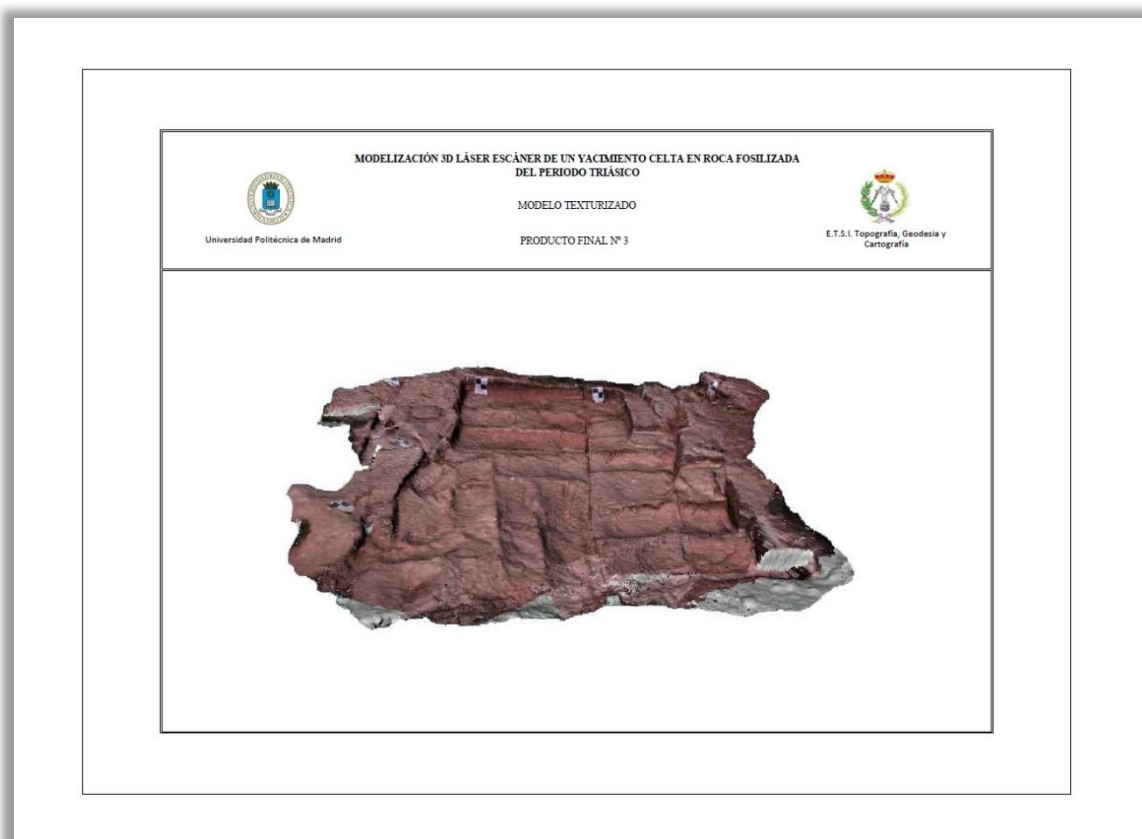


Ilustración 190. Modelo texturizado

6.5. OBTENCIÓN DE MEDIDAS DE INTERÉS DEL YACIMIENTO

Una de las múltiples aplicaciones que tiene un modelado tridimensional de un monumento, una edificación o, como en el caso de este proyecto, un yacimiento, es el poder estudiarlo y medirlo sin tener que desplazarse al lugar donde se encuentra.

En el apartado *Contexto histórico*, se indicaron los posibles orígenes del yacimiento sobre el que se ha hecho la representación tridimensional, comentando que la opción más probable sería la de una necrópolis o un poblado celta.

Para aportar más datos que puedan corroborar esa teoría se han tomado medidas de las distintas cunas excavadas en la piedra para poder comprobar si, por dimensiones, podrían servir a modo de tumbas o lugares de reposo.

Para llevar a cabo a cabo este proceso, se continuará con el programa en modo *Office Survey*.

Main Menu → Herramientas → Herramienta Medición



Modo Office Survey

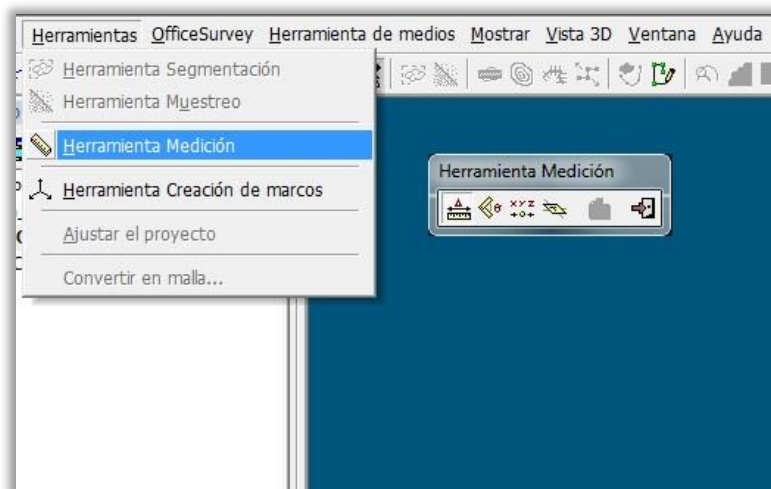


Ilustración 191. Herramienta Medición

Se abrirá una ventana con las distintas opciones para medir: medición de distancias, de ángulos, de puntos y orientación.

Bastará con seleccionar la opción que se necesite y se medirá directamente sobre la malla.

Las mediciones realizadas son las siguientes:

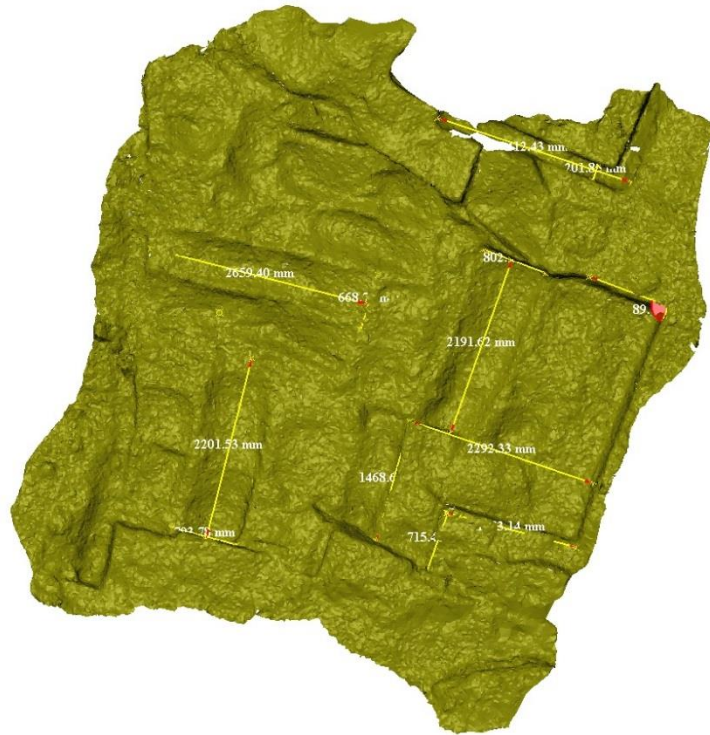


Ilustración 192. Medidas sobre la malla

Se ha vuelto a cambiar el color de la malla ya que no podían distinguirse los valores de las mediciones realizadas sobre ella.

Estos valores se pueden revisar con todas sus componentes accediendo a las propiedades de cada medición:

Botón derecho del ratón sobre la medición → Propiedades

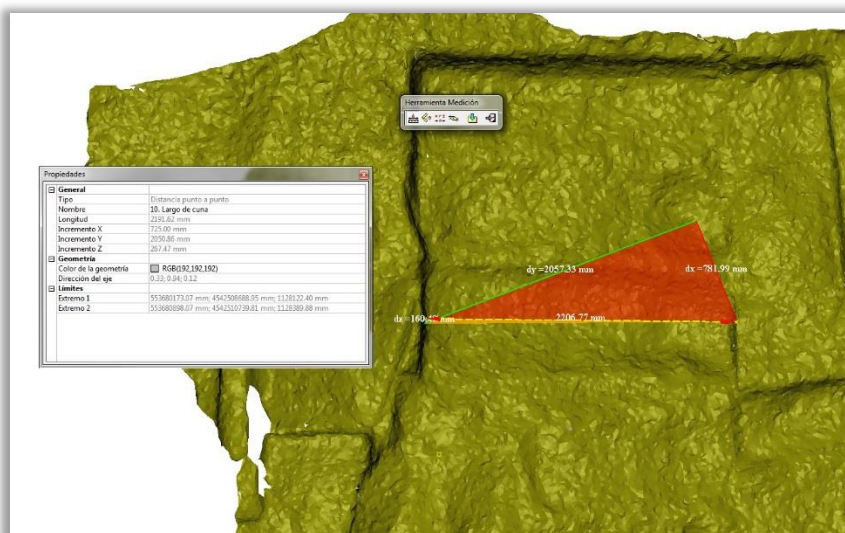


Ilustración 193. Propiedades de la medición



Se puede observar que la mayoría de las cunas tienen dimensiones que podrían asemejarse con las de una persona grande, situando las longitudes de éstas entre 2.1 y los 2.7m, y los anchos de las mismas entre los 0.7 y los 0.8m. Estas dimensiones aportan más fuerza a la idea de que la finalidad de esos huecos fuese la del reposo de cuerpos, ya sea a modo vivienda para la gente de la época o a modo necrópolis para los difuntos.

Se han tomado también:

- Medidas del ancho y el largo de la canalización con orientación E-W, de 0.2m de ancho y 2.4m de largo.
- Medidas de los dos escalones situados al SE del yacimiento, en uno de los cuales se encontró un símbolo grabado. El más pequeño de los dos tiene 1.6m de largo y 0.7m de ancho, y el grande 2.3m de largo y 1.5m de ancho.
- El ángulo en grados sexagesimales del cuadrilátero más grande situado al Este de la parcela. Esta medición es de 89.70° (prácticamente 90°). Hay que tener en cuenta el desgaste de la roca a lo largo del tiempo y el error puntería cometido por el operador. Otra muestra más de la mano del hombre en éste yacimiento.
- La superficie del cuadrilátero mencionado en el punto anterior a partir de sus lados, de 2.2m de ancho y 3m largo, resultando un área de 6.6m^2 . Esta es la zona del yacimiento que más trabajo costó preparar para la medición, ya que era la que más cantidad de tierra tenía encima. En el apartado siguiente se calculará también su volumen como producto final adicional.

6.6. OBTENCIÓN DE VOLÚMENES DEL YACIMIENTO

Esta herramienta puede resultar muy útil en función de las necesidades del cliente.

En este PFC y a modo de ejemplo se va a calcular la cantidad de tierra movida en el cuadrilátero de mayor tamaño situado al Este del yacimiento, ya que fue la zona de mayor trabajo en el proceso de preparación del terreno para la medición y se llevó dos días completos de trabajo, pero antes de llevarlo a cabo, se explicará el proceso de cálculo con el modelo completo para comprobar toda su utilidad.

Para calcular el volumen de una malla habrá que tener el programa en modo *Office Survey*

Main Menu → Office Survey → Herramienta Cálculo de volumen

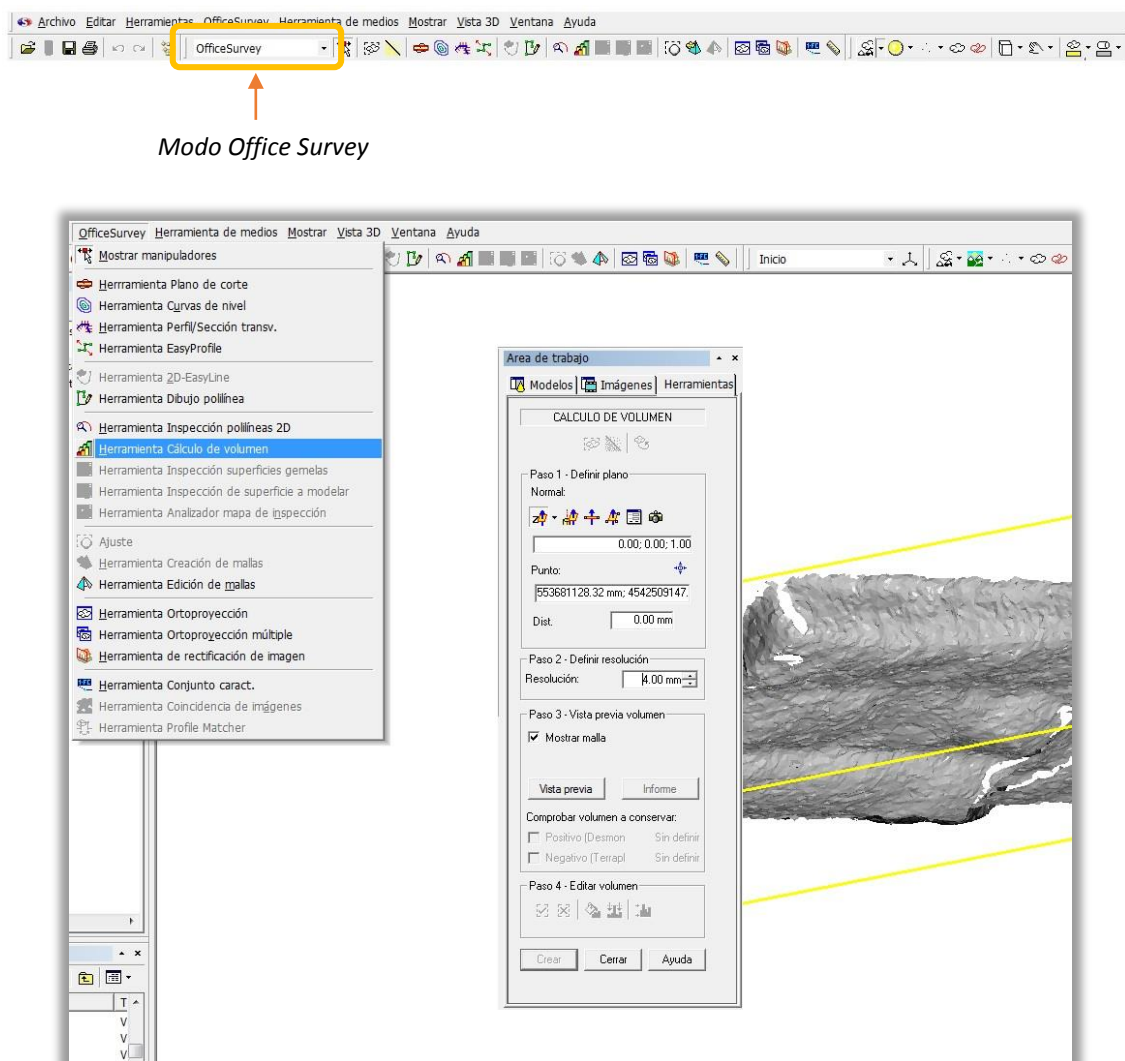


Ilustración 194. Herramienta Cálculo de volumen

En el primer apartado, *definir un plano*, se seleccionará el tipo de plano deseado que servirá de límite para calcular el volumen del modelo, que en este ejemplo ha sido el perpendicular al eje Z. Lo que quede por encima del plano será considerada zona de desmonte y lo que quede por debajo será considerado como zona de terraplén. Esta herramienta se utiliza para el cálculo del movimiento de tierras.

Además, en función del tipo de plano seleccionado, se tendrá que elegir el punto por el que pasará dicho plano, que en este caso se ha dejado el que aparecía por defecto.

Paso 1 - Definir plano

Normal:

0.00; 0.00; 1.00

Punto:

553679151.46 mm; 4542509432.

Dist. 0.00 mm

Ilustración 195. Cálculo de volumen: definir plano

En el segundo apartado, *definir resolución*, se elegirá la resolución de la representación final del volumen calculado.

Paso 2 - Definir resolución

Resolución: 10.00 mm

Ilustración 196. Cálculo de volumen: resolución

En este caso se ha seleccionado una resolución de 10mm que es la máxima que permite el programa sin que haya un exceso de información.

En el tercer apartado, *vista previa volumen*, se obtiene la vista previa de la representación del volumen calculado, así como el volumen de desmonte y terraplén en valores numéricos.

Paso 3 - Vista previa volumen

☐ Mostrar malla

Vista previa Informe

Comprobar volumen a conservar:

<input checked="" type="checkbox"/> Positivo (Desmon)	4.15 m3
<input checked="" type="checkbox"/> Negativo (Terrapl)	-3.94 m3

Ilustración 197. Cálculo de volumen: vista previa

En el cuarto y último apartado, *editar volumen*, se podrá modificar la representación obtenida suavizándola, eliminando zonas que no sean de interés o rellenando huecos, ya que para utilizar esta herramienta sólo se puede trabajar con un único mallado.



Ilustración 198. Cálculo de volumen: edición de volumen

Representaciones de cálculo de volumen:

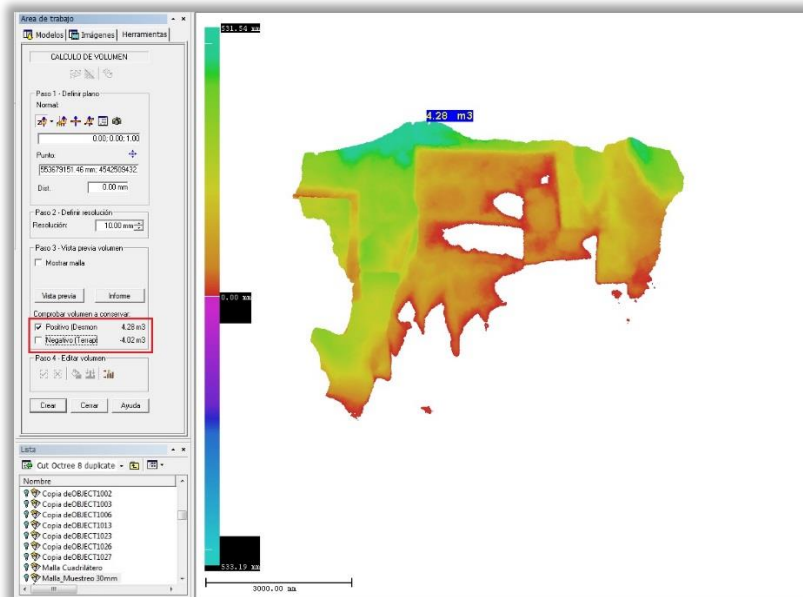


Ilustración 199. Cálculo de volumen: desmonte

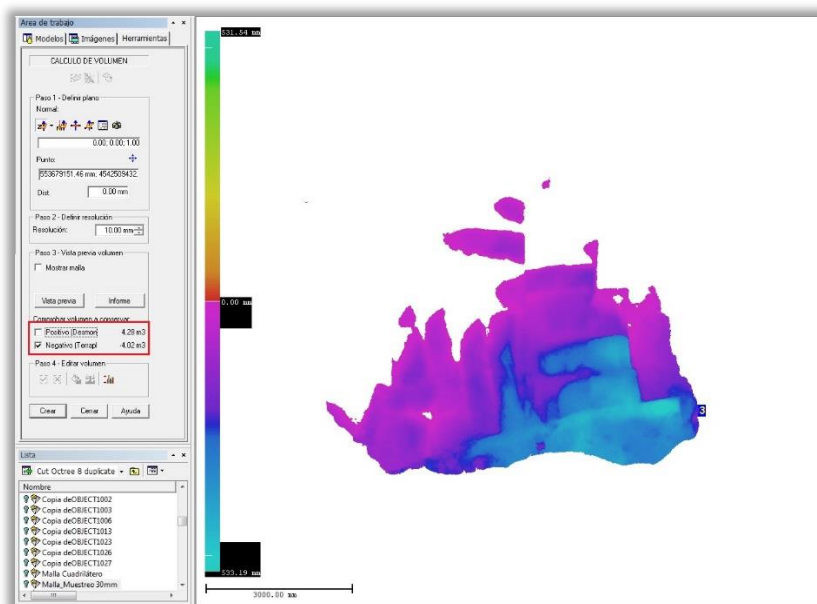


Ilustración 200. Cálculo de volumen: terraplén

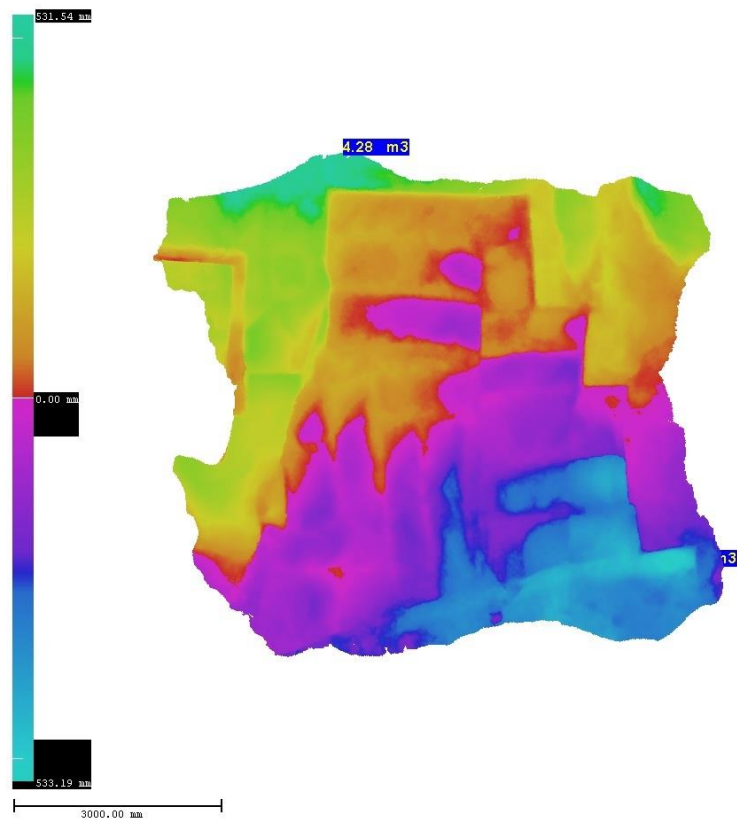


Ilustración 201. Vista en planta del volumen total calculado

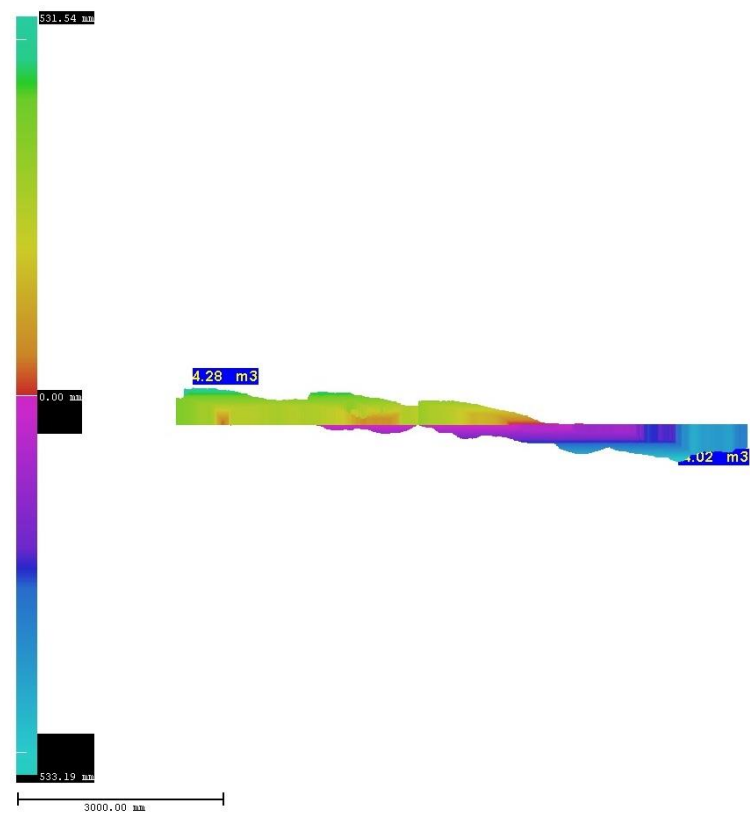


Ilustración 202. Vista de perfil del volumen total calculado

En el caso del cuadrilátero que se comentaba al principio del apartado, antes de llevar a cabo todo el proceso explicado se tendrá que hacer un recorte de la malla de la zona de interés, ya que al calcular el volumen no se puede delimitar una zona en particular.

Para ello hay que volver a la edición de mallas y recortarla siguiendo el contorno del cuadrilátero.

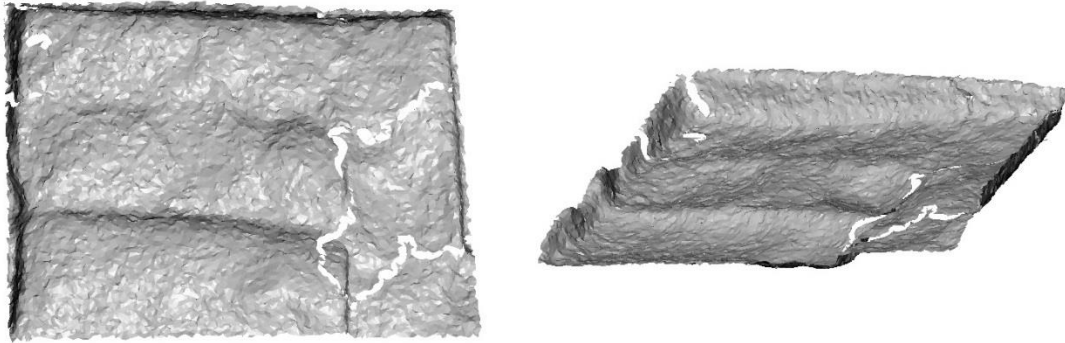


Ilustración 203. Recortes del mallado ajustando la zona de interés

Una vez completado este paso se llevará a cabo todo el proceso anterior, eligiendo esta vez un plano que pase por tres puntos, ajustándolo lo máximo posible a la zona donde comenzaba a haber tierra en el momento anterior al proceso de limpieza del yacimiento. Además se ha seleccionado esta vez una resolución de 4 mm.

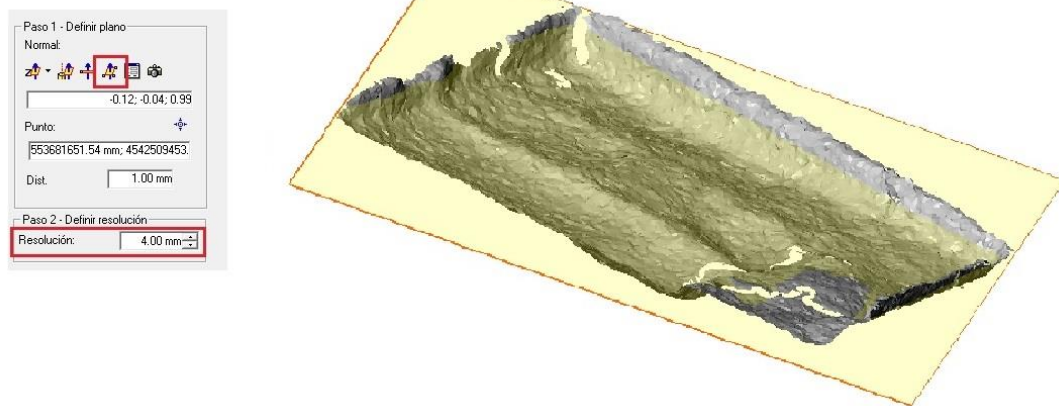


Ilustración 204. Plano de corte y resolución

Se hace *vista previa* del volumen, se corrigen los huecos y se desactiva la nube de puntos para ver la representación del volumen con mayor claridad.

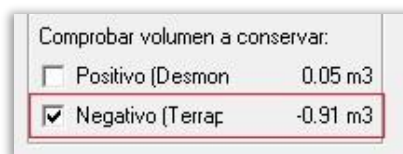


Ilustración 205. Cantidad de tierra movida

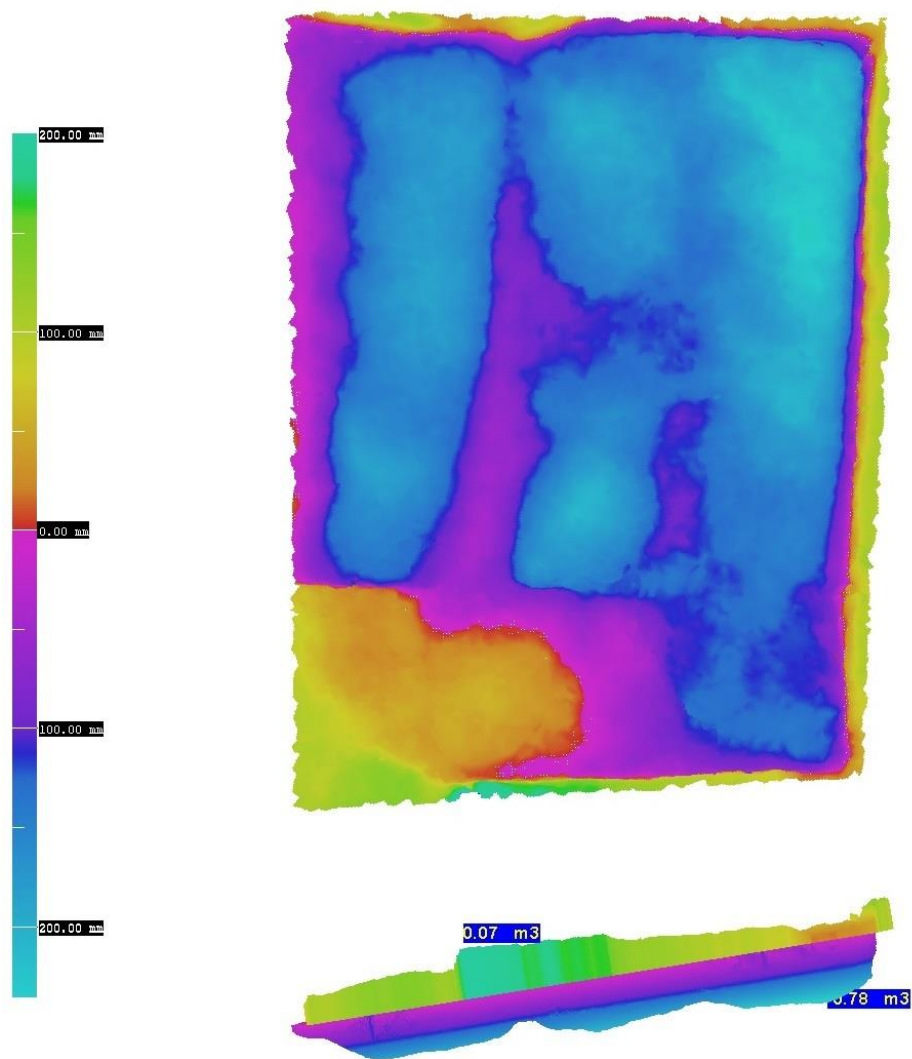


Ilustración 206. Vista en planta y de perfil del volumen calculado

En el caso de este proyecto la única parte que interesa del movimiento de tierras calculado es el terraplén, que equivaldría a la cantidad de tierra movida el día de la limpieza y preparación del yacimiento para la toma de datos.

Cantidad de tierra movida: 0.91m^3

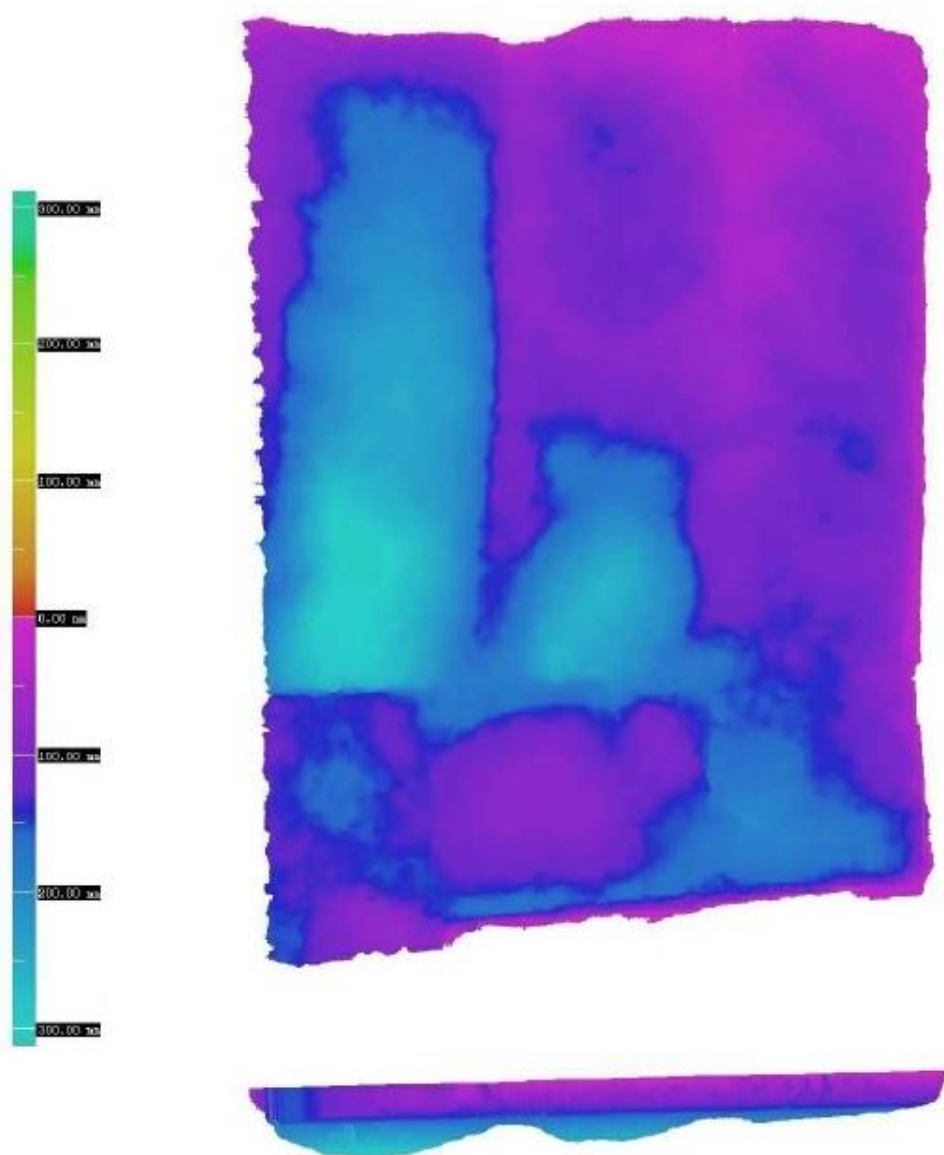


Ilustración 207. Vista en planta y de perfil del volumen de tierra movida

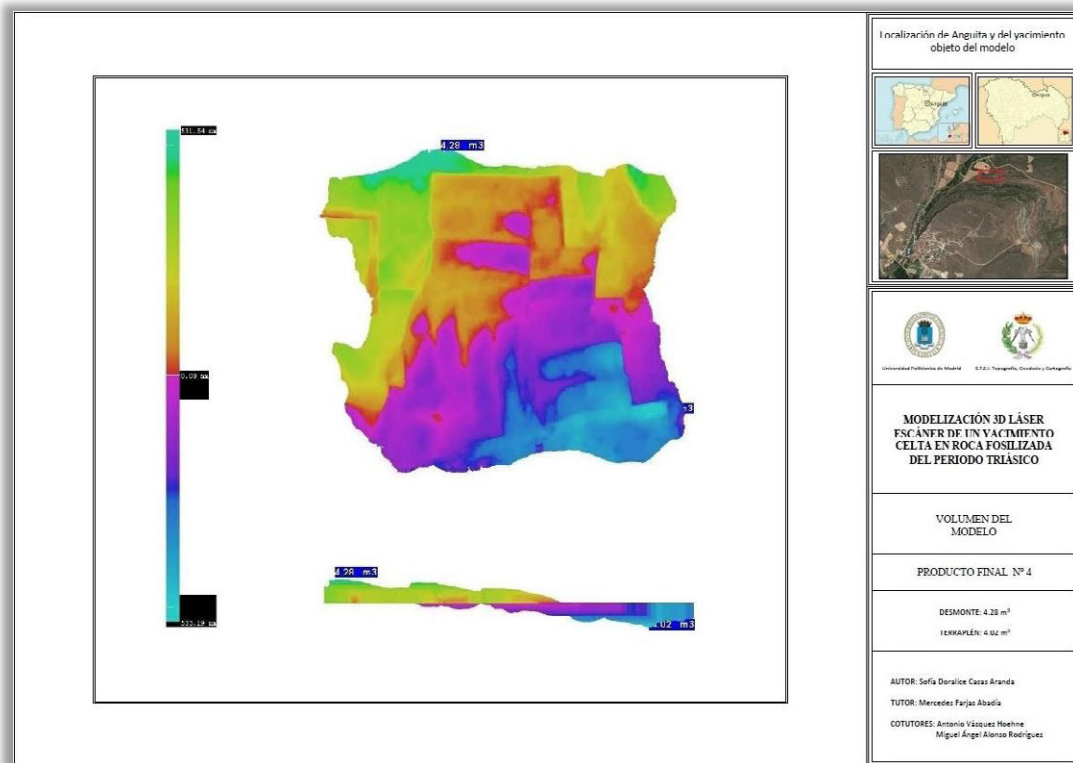


Ilustración 208. Volumen del modelo

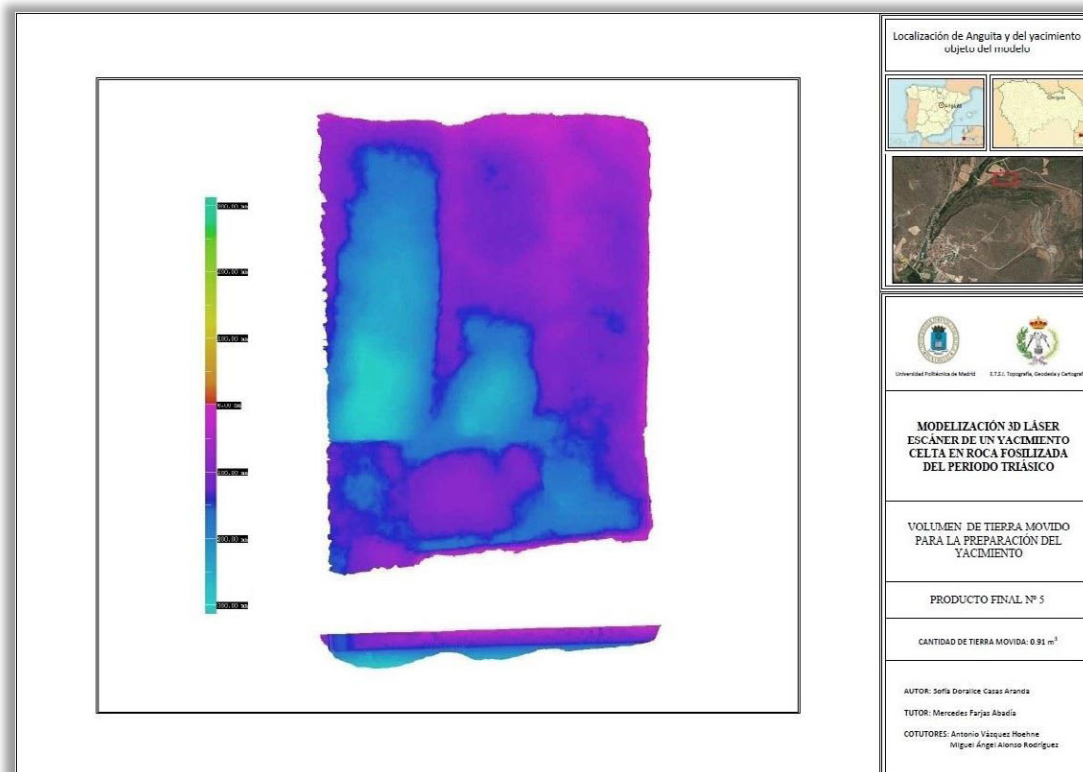


Ilustración 209. Volumen de tierra movido para la preparación del yacimiento

6.7. SECCIONES DEL MODELO TRIDIMENSIONAL

En este apartado se obtendrán secciones tanto transversales como longitudinales del terreno, que puede ser muy práctico para el estudio de los perfiles que se pueden obtener del yacimiento.

Estas secciones se realizan con ayuda de planos de corte, que pueden tener la orientación que se desee en función de las necesidades del cliente.

Para llevar a cabo este proceso se tendrá que mantener una vez más el programa en modo *Office Survey*.

Main Menu → Office Survey → Herramienta Plano de corte



Modo Office Survey

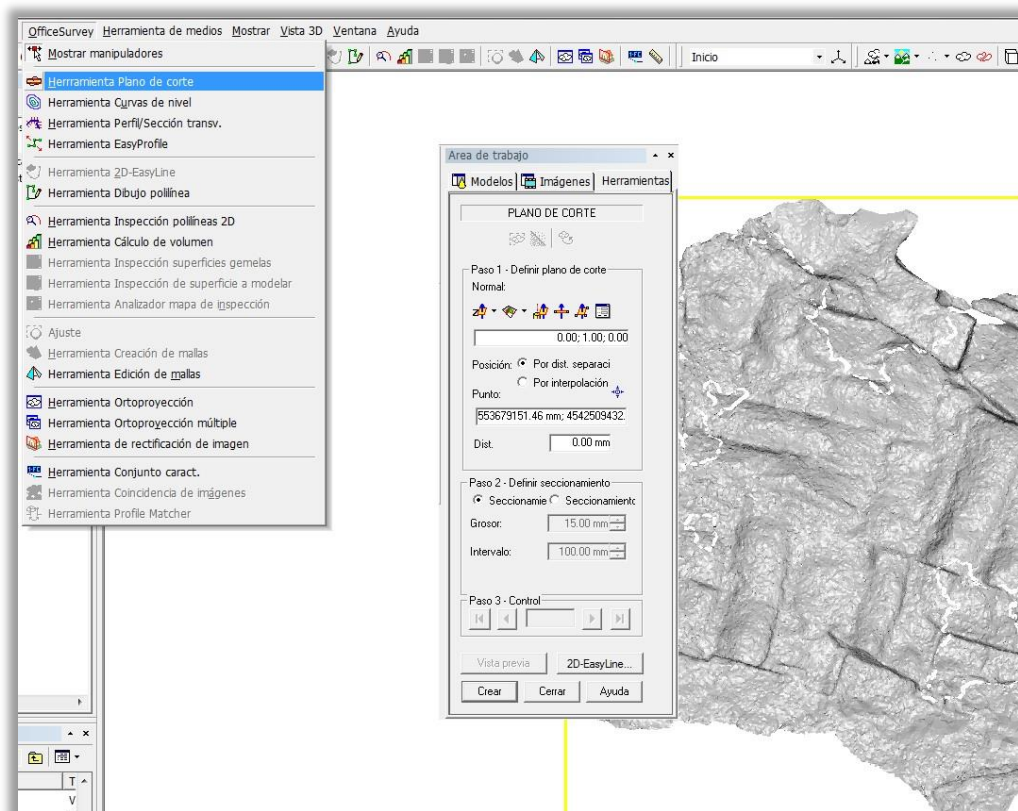


Ilustración 210. Herramienta plano de corte

En el primer apartado, *definir plano de corte*, se elegirá el tipo de plano que se desea para seccionar la malla: perpendicular a uno de los ejes, seleccionando el eje del plano, perpendicular a la pantalla o seleccionando tres puntos de interés. En el caso de este proyecto se ha orientado el modelo y se ha elegido un plano perpendicular al eje X, para que todas las secciones tengan orientación Norte, obteniendo así perfiles transversales. Además se ha utilizado otro plano perpendicular al eje Z para obtener a su vez un ejemplo de perfil longitudinal.

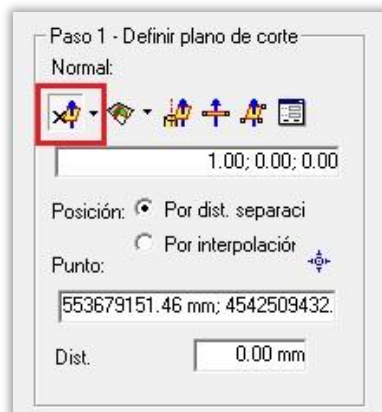


Ilustración 211. Herramienta plano de corte: definir plano

En el segundo apartado, *definir seccionamiento*, se elige el tipo de sección que se desea: una sola sección por el punto que se seleccionase en el apartado anterior, o secciones cada cierto intervalo de espacio de toda la malla.

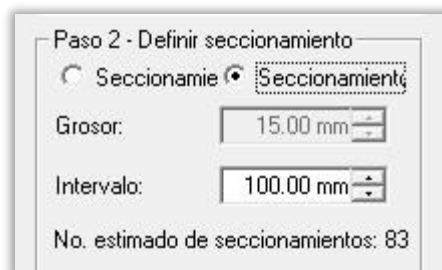


Ilustración 212. Herramienta plano de corte: definir sección

En el tercer y último paso, *control*, se puede seleccionar la sección que más interese una vez creada la vista previa y obtener su representación mediante el comando *2D-EasyLine*.

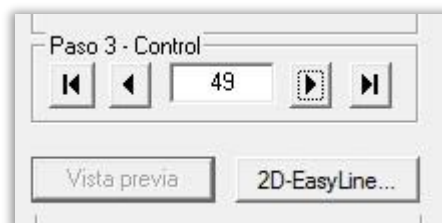


Ilustración 213. Herramienta plano de corte: vista previa

A continuación se mostrarán ejemplos de perfiles longitudinales y transversales con el procedimiento descrito.

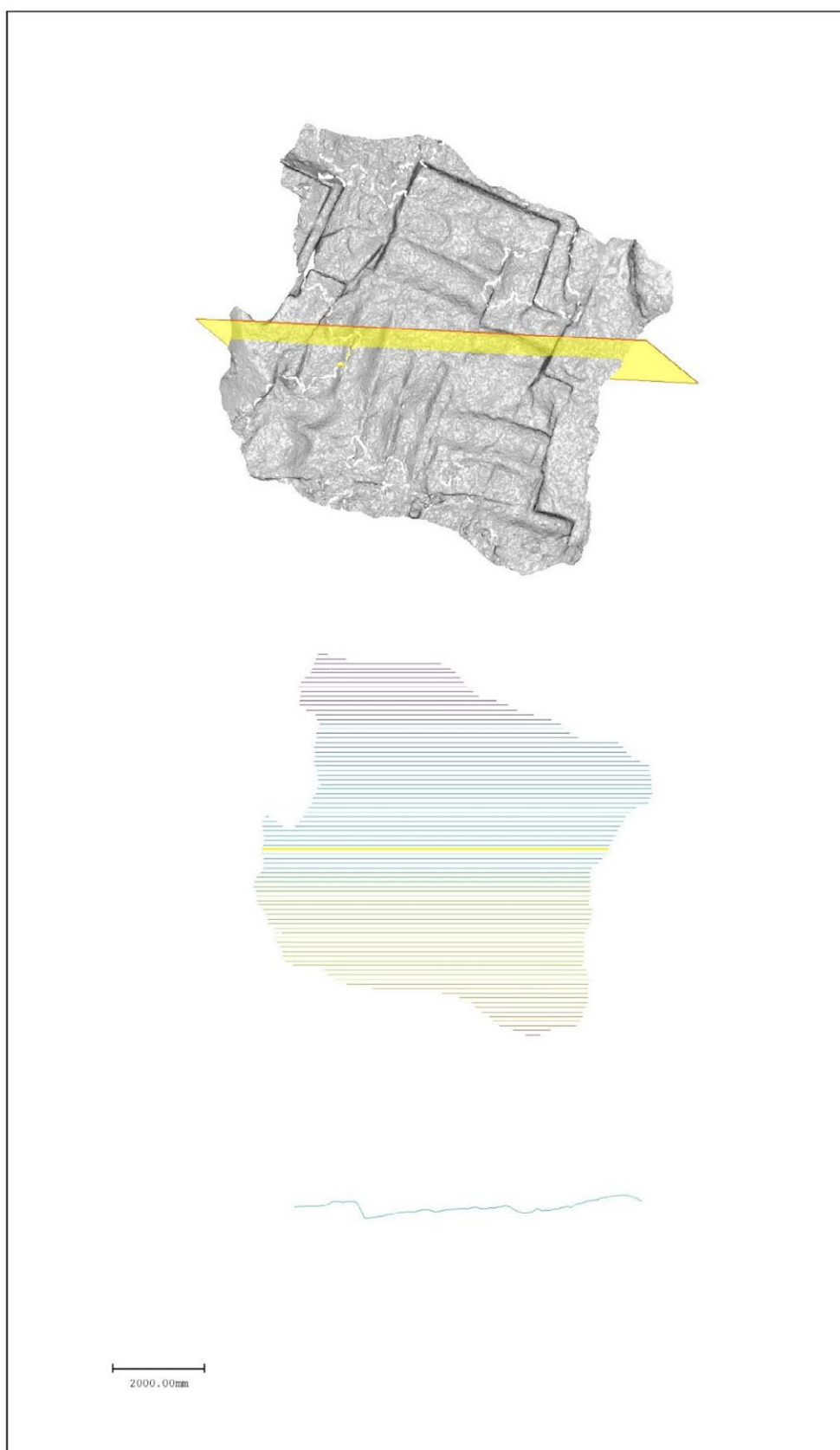


Ilustración 214. Visualización de la sección transversal del modelo



Ilustración 215. Visualización de la sección longitudinal del modelo

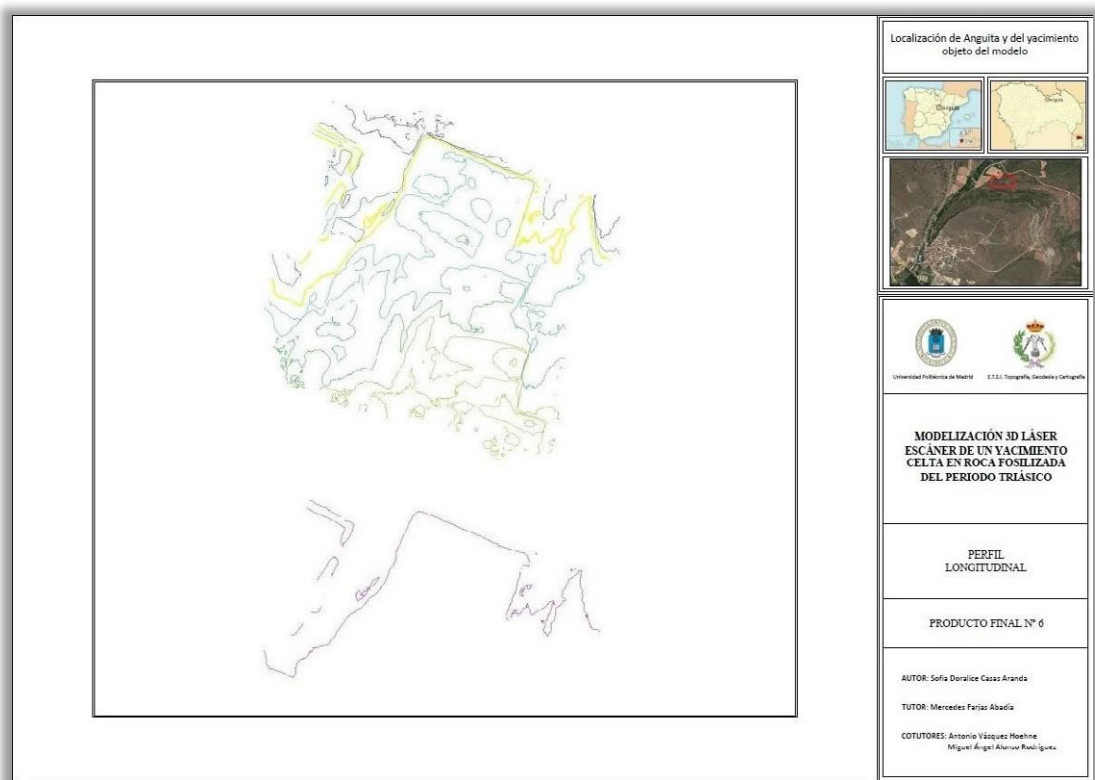


Ilustración 216. Perfil longitudinal del modelo

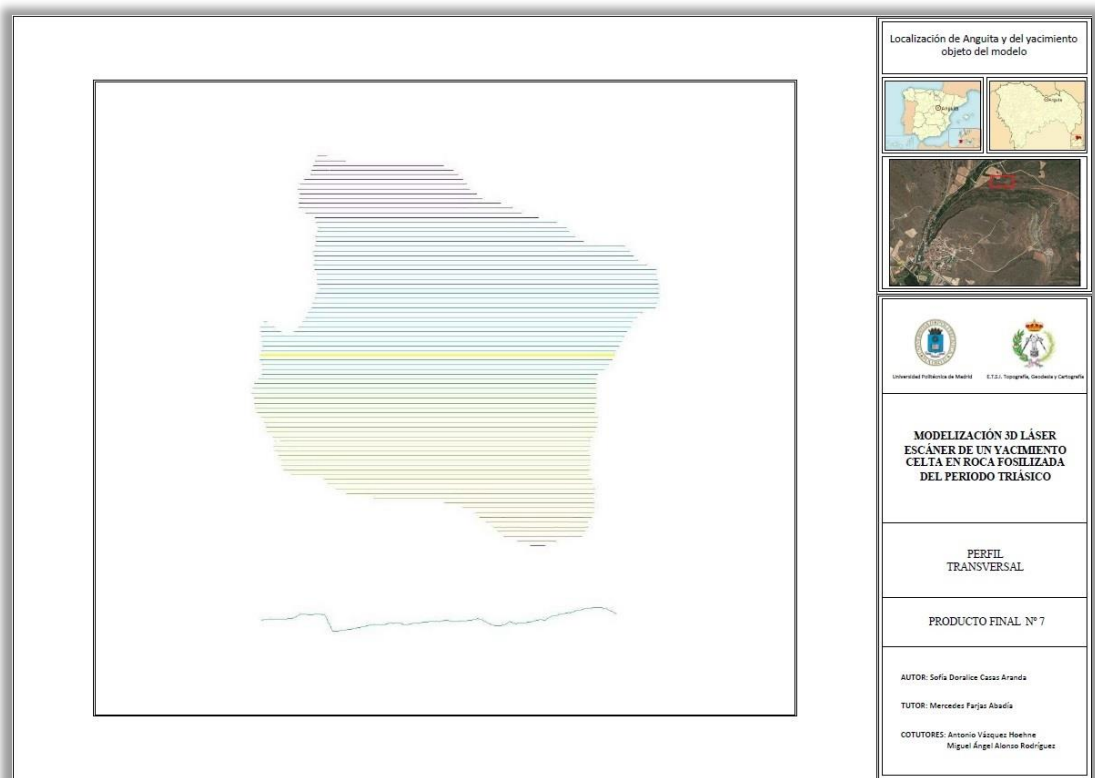


Ilustración 217. Perfil transversal del modelo

6.8. VÍDEO DEL MODELO TRIDIMENSIONAL

El programa Realworks ofrece la posibilidad de generar productos en formato multimedia, vídeos que pueden atraer la atención del cliente de forma más atractiva que las imágenes, que únicamente ofrecen una idea aproximada del resultado final del modelo.

Para llevar a cabo este proceso se mantendrá de nuevo el programa en modo *Office Survey*.

Main Menu → Herramienta de medios → Creador de vídeo

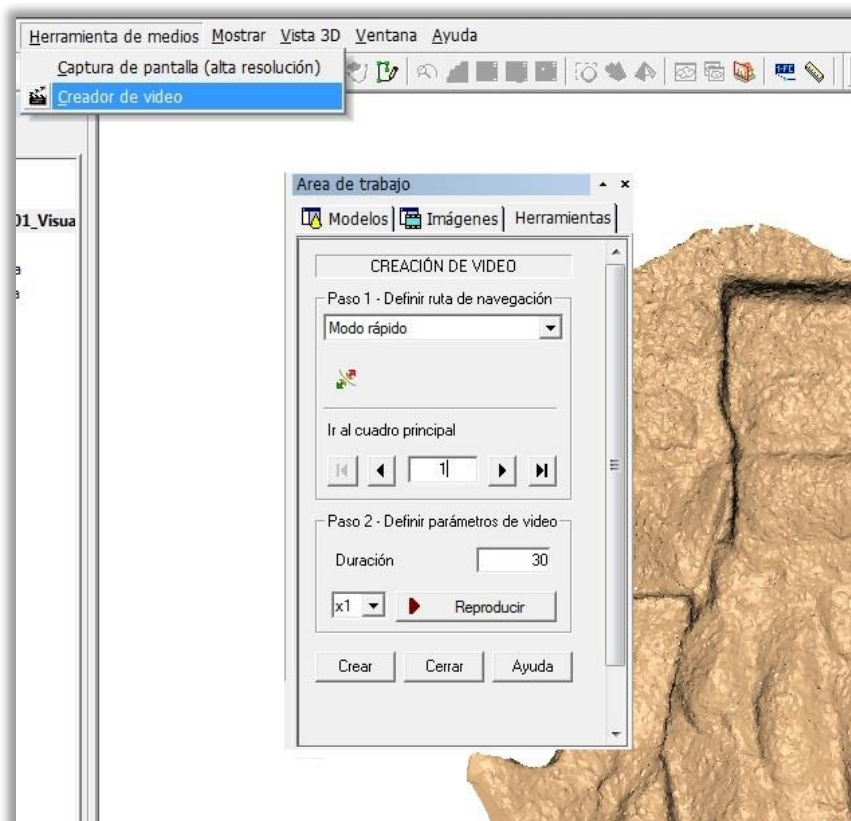


Ilustración 218. Creador de vídeo

En el primer apartado de la ventana de trabajo que se abre, *definir ruta de navegación*, se selecciona el modo de creación del vídeo. Este proceso se puede realizar de tres formas diferentes:

- **Modo rápido**: este método está basado en un recorrido circular en torno al modelo. Los parámetros de este barrido alrededor del objeto, es decir, la posición de las vistas y el tamaño del recorrido, siempre pueden modificarse.
- **Modo ruta**: el recorrido de este método está basado en polilíneas 3D que se van definiendo directamente en la ventana principal.
- **Modo paso a paso**: en este caso el método se basa en trayectorias complejas del punto de vista que se van editando en la ventana *editar vídeo y preverlo* (para poder ver esta ventana: *menú principal/ventana/mosaico vertical*). Éste es el método seleccionado para la creación del vídeo del presente PFC.

En este apartado y con este modo de trabajo seleccionado aparece el comando *agregar nuevo cuadro de vista*, que sirve para ir colocando los puntos de vista que interesen mientras se va girando el modelo. Además se dispone de un cuadro donde aparecen los puntos de vista creados, permitiendo desplazarse a través de ellos.

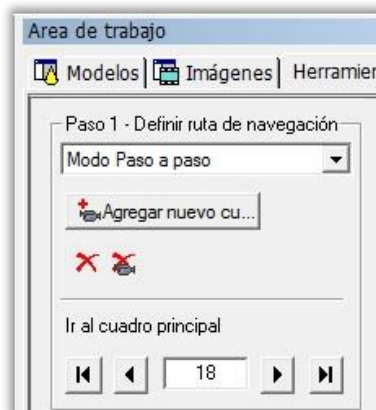


Ilustración 219. Creación de los puntos de vista y la trayectoria

En el segundo apartado, *definir parámetros de vídeo*, se selecciona la duración y la velocidad, además de disponer de la opción de una reproducción previa para comprobar el resultado obtenido antes de crearlo.

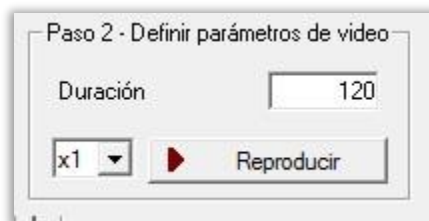


Ilustración 220. Parámetros del vídeo

A continuación se muestra un ejemplo del modo de trabajo *paso a paso*:

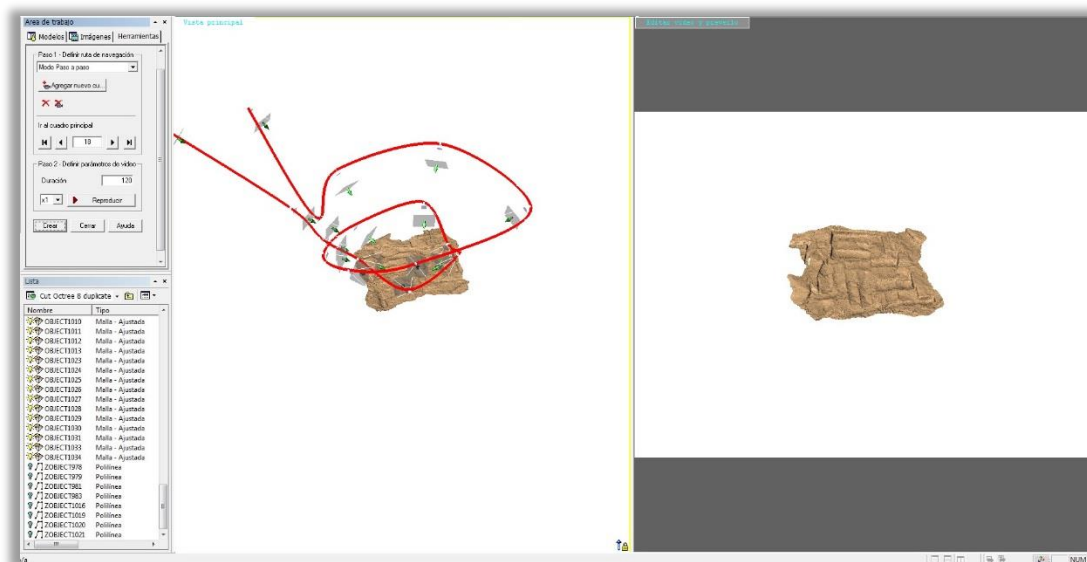


Ilustración 221. Proceso de creación del vídeo

El último paso sería crear el vídeo. Este se guardará en formato *.AVI con calidad HD 720p. También se tendrá que cambiar el códec a *Códec Cinepak por Radius* para que el vídeo creado no entre en conflicto y se pueda reproducir sin problemas.

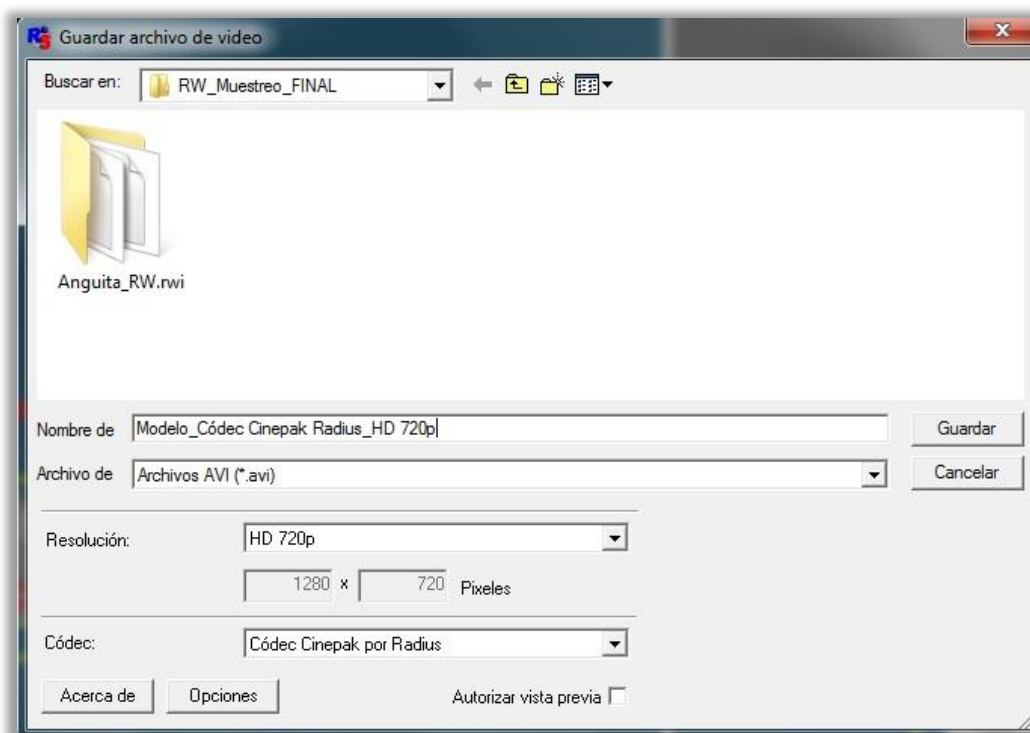


Ilustración 222. Exportación del vídeo en formato *.AVI

7.PRESENTACIÓN DE PRODUCTOS



ORTOPROYECCIÓN (PLANO 1)



DETRÁS ORTOPROYECCIÓN

PLANO CON CURVADO (PLANO2)



DETRÁS PLANO CON CURVADO

MODELO TEXTURIZADO (PRODUCTO FINAL 3)



DETRÁS MODELO TEXTURIZADO

VOLUMEN TOTAL (PRODUCTO FINAL 4)



DETRÁS VOLUMEN TOTAL

VOLUMEN TIERRA MOVIDO (PRODUCTO FINAL 5)



DETRÁS VOLUMEN TIERRA MOVIDO

PERFIL LONGITUDINAL (PRODUCTO FINAL 6)



DETRÁS PERFIL LONGITUDINAL

8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO



Una vez terminado el proyecto se procederá al cálculo del presupuesto total del mismo. Se valorará el material y los procesos llevados a cabo con el fin de estimar un coste teórico en el caso de que fuese dirigido a un cliente real.

Para llevar a cabo este proceso se diferenciarán las fases del mismo, para desglosar después el coste de los factores y materiales que intervienen.

- Planificación
- Trabajo de campo
 - Medición de la red geodésica
 - Medición de la red topográfica
 - Realización del escaneado láser escáner
- Trabajo de gabinete
 - Obtención de la red geodésica
 - Obtención de la red topográfica
 - Modelización del yacimiento
- Obtención de resultados
- Redacción de memoria
 - Descripción de los procesos realizados

El coste final del proyecto será la suma de los costes de cada fase.

Antes de comenzar el desglose de precios se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Coste económico:
 - Costes fijos: aquellos que no varían en caso de sí hacerlo el volumen del proyecto.
 - Costes variables: aquellos que cambian al variar el volumen del proyecto.
- Costes contables:
 - Costes directos: aquellos que intervienen directamente en el proceso de creación del proyecto, como la mano de obra, materiales...
 - Costes indirectos: aquellos necesarios para el mantenimiento de una empresa, como alquiler de oficina, energía eléctrica, mantenimiento de vehículo...
Este tipo de costes se han tenido en cuenta al calcular el porcentaje de beneficio del 15% del coste de la suma de las distintas fases del proyecto.



A continuación se mostrarán las tablas con el resumen de costes de cada fase del proyecto, así como el coste final del mismo con los beneficios de empresa y el I.V.A. añadido.

PLANIFICACIÓN						
Fase	Concepto	Clase	Unidades	Días de trabajo	Coste unidad	Coste total
Planificación previa	Mano de obra	Planificación previa	1	0,5	20 €	10 €
		Ingeniero Técnico en Topografía	1	2,5	70 €	175 €
		Auxiliar de campo	2	2	40 €	160 €
		Limpieza y preparación del yacimiento	1	2	50 €	100 €
	Material	Pico	1	2	5 €	10 €
		Palas	2	2	5 €	20 €
		Cepillo	2	2	5 €	20 €
		Escoba	1	2	5 €	10 €
		Agua	1	2	5 €	10 €
	Transporte		1	2	42 €	84 €
	Dietas		2	2	20 €	80 €
COSTE TOTAL PLANIFICACIÓN (2,5 días hábiles):						679 €

Tabla 1. Costes de planificación

TRABAJO DE CAMPO						
Fase	Concepto	Clase	Unidades	Días de trabajo	Coste unidad (€/día)	Coste total
Medición de la red geodésica	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	2	70 €	140 €
	Mano de obra	Auxiliar de campo	1	2	40 €	80 €
	Material	Equipo GPS Leica 1200	1	2	162 €	324 €
		Equipo GPS Leica 500	2	2	100 €	400 €
		Tarjeta memoria	2	2	20 €	80 €
	Transporte		1	2	42 €	84 €
	Dietas		2	2	20 €	80 €
	Coste proceso:					1.188 €
Medición de la red topográfica	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	1	70 €	70 €
	Mano de obra	Auxiliar de campo	2	1	40 €	80 €
	Material	Estación total Leica 405	1	1	80 €	80 €
		Estación total Leica 705	1	1	80 €	80 €
	Transporte		1	1	42 €	42 €
	Dietas		3	1	20 €	60 €
	Coste proceso:					412 €
Medición con láser escaner	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	1	70 €	70 €
	Mano de obra	Auxiliar de campo	2	1	40 €	80 €
	Material	Láser escáner RIEGL LMS Z420i	1	1	700 €	700 €
		Ordenador	1	1	30 €	30 €
		Batería especial	1	1	45 €	45 €
		Cámara canon EOS 20D	1	1	30 €	30 €
	Software	Licencia Riscan Pro	1	1	30 €	30 €
	Transporte		1	1	42 €	42 €
	Dietas		0	1	20 €	0 €
	Coste proceso:					1.027 €
COSTE TOTAL TRABAJO DE CAMPO (4 días hábiles):						2.627 €

Tabla 2. Costes de trabajo de campo

TRABAJO DE GABINETE						
Fase	Concepto	Clase	Unidades	Días de trabajo	Coste unidad (€/día)	Coste total
Obtención de la red geodésica	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	1	70 €	70 €
	Material	Ordenador	1	1	30 €	30 €
	Software	Licencia Leica Geo Office	1	1	30 €	30 €
	Dietas		1	1	20 €	20 €
	Desplazamiento		1	1	10 €	10 €
	Coste proceso:					160 €
Obtención de la red topográfica	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	1	70 €	70 €
	Material	Ordenador	1	1	30 €	30 €
	Software	Licencia Topcal	1	1	30 €	30 €
	Dietas		1	1	20 €	20 €
	Desplazamiento		1	1	10 €	10 €
	Coste proceso:					160 €
Obtención del modelo	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	11	70 €	770 €
	Material	Ordenador	1	11	30 €	330 €
	Software	Licencia Riscan Pro	1	3	30 €	90 €
		Licencia Realworks	1	7	30 €	210 €
		Licencia Autocad	1	1	30 €	30 €
	Dietas		1	11	20 €	220 €
	Desplazamiento		1	11	10 €	110 €
	Coste proceso:					1.760 €
COSTE TOTAL TRABAJO DE GABINETE (13 días hábiles):						2.080 €

Tabla 3. Costes de trabajo de gabinete

GENERACIÓN DE PRODUCTOS FINALES					
Fase	Concepto	Clase	Unidades	Coste unidad	Coste total
Resultados para el cliente	Mano de obra	Modelo digital tridimensional	1	1.000 €	1.000 €
		Ortoproyección del modelo	1	150 €	150 €
		Mapa del modelo	1	150 €	150 €
		Modelo texturizado	1	60 €	60 €
		Medidas de interés	1	40 €	40 €
		Volúmenes del yacimiento	1	90 €	90 €
		Secciones del modelo	1	90 €	90 €
		Video del modelo	1	150 €	150 €
COSTE TOTAL DE RESULTADOS OBTENIDOS:					1.730 €

Tabla 4. Costes de resultados

REDACCIÓN DE LA MEMORIA						
Fase	Concepto	Clase	Unidades	Días de trabajo	Coste unidad	Coste total
Memoria descriptiva y de investigación	Mano de obra	Ingeniero Técnico en Topografía	1	25	70 €	1.750 €
	Materiales	Hojas de papel A4	900	1	0,07 €	63 €
		Hojas de papel A2	2	1	0,5 €	1 €
		Impresora	2	1	15 €	30 €
		DVD	3	1	2 €	6 €
	Otros	Encuadernación	1	1	173 €	173 €
COSTE TOTAL REDACCIÓN DE MEMORIA (26 días hábiles):						2.023 €

Tabla 5. Costes de redacción

RESUMEN DE COSTES	
Planificación	679 €
Trabajo de campo	2.627 €
Trabajo de gabinete	2.080 €
Productos finales	1.730 €
Memoria descriptiva	2.023 €
COSTE TOTAL	9.139 €
Beneficio empresarial (15%)	1.370,85 €
I.V.A. (21%)	1.919,19 €
COSTE FINAL DEL PROYECTO	12.429,04 €

Tabla 6. Coste total de proyecto



9.CONCLUSIONES



El objetivo del presente PFC era la realización de la modelización 3D de una superficie rocosa para su posible utilización en el ámbito de la arqueología principalmente. Gracias a este modelo tridimensional la información podrá estar al alcance de expertos que puedan corroborar el origen de dicha manifestación y realizar estudios sobre él sin necesidad de desplazamiento. A su vez podría abrir la posibilidad del estudio de toda la zona alrededor del yacimiento y, en caso de encontrar una cantidad mayor de manifestaciones arqueológicas, poder incluirlo dentro del patrimonio histórico.

En lo referente al trabajo de campo, en primer lugar se puede decir que la tecnología láser escáner ofrece el modo de recopilación de información más rápido y completo del mercado, obteniendo una representación muy detallada de la realidad al registrar miles de puntos de gran calidad en un periodo de tiempo relativamente corto. En el caso del equipo utilizado en este proyecto, el láser escáner Riegl LMS Z420i, hay que contar con la necesidad de ir con auxiliares a la zona de trabajo en caso de tener que andar un largo recorrido hasta el emplazamiento, ya que es un equipo muy voluminoso y pesado que consta de varios cuerpos o piezas. Y en segundo lugar, basando la experiencia en el trabajo con equipos GNSS y estaciones totales, cabe destacar la imperiosa necesidad de un buen mantenimiento de los mismos ya que, si éstos no pasan rigurosamente los controles pertinentes, pueden fallar en campo por mucho que se revisen el día previo a la toma de datos. Por lo demás, las precisiones obtenidas con dicho material para la finalidad inherente a esta fase del proyecto, que es su posicionamiento absoluto para facilitar su localización en deferencia a futuras visitas, es suficiente acorde a las precisiones establecidas para el PFC.

En relación al trabajo de gabinete, ya que se ha trabajado con tres metodologías diferentes, se puede anotar que, así como el trabajo de campo es mucho más rápido con láser escáner que con topografía clásica o tecnología GNSS, el tratamiento de datos es mucho más largo y tedioso. Prueba de ello es que en la fase de procesado con el programa Leica Geo Office y con el programa Topcal, se invirtió un solo día de trabajo en cada uno de ellos, mientras que en el caso de Riscan Pro y Realworks el número de días invertidos ha ascendido a más de dos semanas. Esto es debido a la depuración tan minuciosa que hay que realizar sobre el modelado de cualquier objeto, además de la cantidad ingente de información que hay que manejar en los ordenadores ya que, con nubes de puntos de gran densidad, los programas pueden ralentizarse y llegar a retrasar un proceso concreto varias horas. En cualquier caso siempre se va a conseguir mucha más información con un modelado tridimensional y va a ser más fiel a la realidad que con la mayoría de representaciones llevadas a cabo con otros sistemas de medida.

Otro tema a tener en cuenta es la precisión. En lo referente a la modelización se ha obtenido una precisión de 18mm, que se considera suficiente para los fines indicados en este proyecto. Ahora bien, en caso de necesitar una información más minuciosa de los detalles del yacimiento, como son las marcas de cincel o el símbolo grabado en uno de los escalones, se necesitaría otro equipo que pudiese aportar una mayor precisión, ya que la máxima aportada por el equipo RIEGL LMS Z420i es de 10mm y con otros equipos se podría llegar a obtener del orden del milímetro. En cuanto a la precisión externa al modelo, la georreferenciación, se ha obtenido una precisión de 35mm, que como se ha comentado anteriormente, se considera lo suficientemente válida para el objetivo citado anteriormente.

Teniendo en cuenta el equipo utilizado para la realización de este proyecto se puede llegar a la conclusión de que el objetivo del mismo se ha cumplido, teniendo presente que para precisiones mayores se tendrían que utilizar otros equipos y metodologías diferentes.



10. ANEXOS



PROPUESTA DE PROYECTO FIN DE CARRERA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS EN
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y
CARTOGRAFÍA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Departamento de Ingeniería
Topográfica y Cartografía

Registro de Entrada nº 394

Fecha: 13 / Mayo / 2014

TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA – PROPUESTA DE PFC

PFC - I

PFC Individual



PFC de dos Alumnos



PFC de tres Alumnos



ALUMNO 1. DATOS PERSONALES - ACADÉMICOS

APELLIDOS: CASAS ARANDA		
NOMBRES: SOFIA DORALICE		DNI: 50551767
DOMICILIO: Pº Alabarderos 2 3ªA		CORREO ELECTRÓNICO: sofia.casas@hotmail.es
C.P. CIUDAD, PROVINCIA: Madrid		
TELÉFONO 1: 687771429		TELÉFONO 2:
CRÉDITOS PENDIENTES DE SUPERAR DE ASIGNATURAS:		
TRONCALES:	6	OBLIGATORIAS: 0
		DE LIBRE ELECCIÓN: 0

ALUMNO 2. DATOS PERSONALES - ACADÉMICOS

APELLIDOS:		
NOMBRES:		DNI:
DOMICILIO:		CORREO ELECTRÓNICO:
C.P. CIUDAD, PROVINCIA:		
TELÉFONO 1:		TELÉFONO 2:
CRÉDITOS PENDIENTES DE SUPERAR DE ASIGNATURAS:		
TRONCALES:		OBLIGATORIAS:
		DE LIBRE ELECCIÓN:

ALUMNO 3. DATOS PERSONALES - ACADÉMICOS

APELLIDOS:		
NOMBRES:		DNI:
DOMICILIO:		CORREO ELECTRÓNICO:
C.P. CIUDAD, PROVINCIA:		
TELÉFONO 1:		TELÉFONO 2:
CRÉDITOS PENDIENTES DE SUPERAR DE ASIGNATURAS:		
TRONCALES:		OBLIGATORIAS:
		DE LIBRE ELECCIÓN:

TÍTULO DEL PFC:

Modelización 3D láser escáner de un yacimiento celta en roca fosilizada del periodo triásico.

MATERIAS INVOLUCRADAS:

Métodos topográficos y métodos Láser Escáner.

CÓD. INTERNO

CÓD. UNESCO

TOPO

330707

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA

*** E.T.S.I. TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA ***

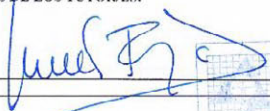
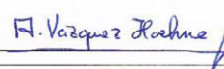


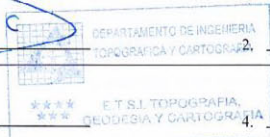
DATOS DEL TUTOR / ES - COTUTOR/ES

NOMBRE Y APELLIDOS (TUTOR/ES)		CORREO ELECTRONICO DE CONTACTO:
1	Mercedes Farjas Abadia	m.farjas@upm.es
2	Antonio Vázquez Hoehne	antonio.vazquez.hoehne@upm.es
3		
4		
NOMBRE Y APELLIDOS (COTUTOR/ES)		CORREO ELECTRONICO DE CONTACTO:
1.		
TITULACIÓN:		DNI :
EMPRESA, CENTRO U ORGANISMO:		
DOMICILIO:		TELÉFONO:
C.P., CIUDAD, PROVINCIA:		
2.		
TITULACIÓN:		DNI :
EMPRESA, CENTRO U ORGANISMO:		
DOMICILIO:		TELÉFONO:
C.P., CIUDAD, PROVINCIA:		

Madrid, 12 / Mayo / 2014

FIRMAS DE LOS TUTORES:

1.  2. 

3.  4.

FIRMAS DE LOS COTUTOR/ES:

1. 2.

DATOS DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

TÍTULO: Modelización 3D láser escáner de un yacimiento celta en roca fosilizada del periodo triásico.	CÓD. INTERNO TOPO	CÓD. UNESCO 330707
--	----------------------	-----------------------

RELLENAR LOS SIGUIENTES APARTADOS:

1. OBJETIVOS, ANTECEDENTES (SI LOS HUBIESE), LOCALIZACIÓN, EXTENSIÓN, ETC. 2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.

1. OBJETIVO, ANTECEDENTES, LOCALIZACIÓN, EXTENSIÓN

El principal objetivo de este proyecto es obtener la representación tridimensional de superficies de interés arqueológico y geológico en superficies rocosas de litología de areniscas triásicas, en concreto se ha elegido unas manifestaciones rupestres que hacen pensar en un yacimiento celta (edad cronológica pendiente de confirmación)

Se ha elegido este asentamiento teniendo en cuenta que con la tecnología láser escáner se pueden analizar sobre la roca patrones geométricos y detalles morfológicos, que a simple vista pasan desapercibidos.

El lugar de la toma de datos se encuentra al norte de la provincia de Guadalajara, zona que en su momento fue densamente poblada por civilizaciones celtiberas. La superficie que ocupa el emplazamiento sobre el cual se va a hacer la modelización 3D abarca aproximadamente 20x10 metros.

2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

La primera fase del trabajo será el conocimiento del equipo láser escáner terrestre y de la tecnología de medida para llevar a cabo la toma de datos.

En la segunda fase se efectuará la captura y el tratamiento de los mismos, para obtener un modelo digital de la superficie de interés geológico. Se realizará un estudio de las diferentes formas del yacimiento celta (entre los cuales figuran erosiones debidas al agua, posibles huellas prehistóricas, fósiles), incluyendo una explicación del contexto histórico de todo ello. Se incluirá también un estudio geológico del emplazamiento. A continuación se realizará la modelización de la placa rocosa del asentamiento.

El modelo se obtendrá con una precisión interna de ± 2 centímetros.



SE AÑADE:

CARTOGRAFÍA:

☐

OTROS ANEXOS:

☐



DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

MATERIAL NECESARIO:
Equipo Láser Escáner

PREVISIÓN TEMPORAL DE USO DE MATERIAL:
Dos semanas

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES Y PAUTA TEMPORAL DEL TRABAJO:
Toma de datos: dos semanas de duración
Procesamiento de datos y redacción de memoria: cuatro meses aproximadamente

DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR:
Memoria descriptiva y explicativa de la representación del yacimiento
Modelo 3D del yacimiento celta
Ficheros de datos obtenidos

FIRMAS DE LOS ALUMNOS

NOMBRE Y APELLIDOS (ALUMNO/S)

1. SOFIA DORALICE CASAS ARANDA

2. _____

3. _____



FIRMAS:

A RELLENAR POR LA COMISIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

Reunida la Comisión del Proyecto Fin de Carrera, con fecha 13 / Mayo / 2014 ha decidido nombrar al siguiente tribunal:

PRESIDENTE: _____
SECRETARIO: _____
VOCAL: _____
SUPLENTE: _____

Madrid, 13 / Mayo / 2014

Firma del Presidente

ORTOFOTOGRAFÍA DE ANGUITA



ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO LÁSER ESCÁNER RIEGL LMS Z420i

Technical Data 3D Scanner Hardware *RIEGL* LMS-Z420i

Laser Product Classification

Class 1 Laser Product according to IEC60825-1:2007

The following clause applies for instruments delivered into the United States:
Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11, except for deviations pursuant
to Laser Notice No. 50, dated June 24, 2007.

Rangefinder Performance¹⁾Max. Measurement Range²⁾for natural targets, $\rho \geq 80\%$ for natural targets, $\rho \geq 10\%$

Minimum Range

Accuracy^{3) 4)}Repeatability^{4) 5)}

Measurement Rate

Laser Wavelength

Beam Divergence⁶⁾

up to 1000 m

up to 350 m

2 m

10 mm

8 mm (single shot), 4 mm (averaged)

up to 11000 pts/sec @ low scanning rate (oscillating mirror)

up to 8000 pts/sec @ high scanning rate (rotating mirror)

near infrared

0.25 mrad

- 1) First, Last, or Alternating Target Mode selectable from scan line to scan line.
2) Typical values under average conditions. Maximum range is specified for flat targets with size in excess of the laser beam diameter and near perpendicular angle of incidence of the laser beam, atmospheric visibility in excess of 23 km. In bright sunlight the operational range is considerably shorter than under an overcast sky.

- 3) Accuracy is the degree of conformity of a measured quantity to its actual (true) value.
4) Precision, also called reproducibility or repeatability, is the degree to which further measurements show the same result.
5) One sigma @ 50 m range under RIEGL test conditions.
6) 0.25 mrad correspond to 25 mm increase of beamwidth per 100 m of range.

Scanner Performance

Vertical (Line) Scan

Scan Angle Range

Scanning Mechanism

Scan Speed

Angular Stepwidth $\Delta \theta$ ⁷⁾

between consecutive laser shots

Angle Measurement Resolution

Horizontal (Frame) Scan

Scan Angle Range

Scanning Mechanism

Scan Speed⁸⁾Angular Stepwidth $\Delta \varphi$ ⁷⁾

between consecutive scan lines

Angle Measurement Resolution

Inclination Sensors

Internal Sync Timer

0° to 80°

rotating / oscillating mirror

1 scan/sec to 20 scans/sec @ 80° scanning range

 $0.004^\circ \leq \Delta \theta \leq 0.2^\circ$

0.002°

0° to 360°

rotating optical head

0.01°/sec to 15°/sec

 $0.004^\circ \leq \Delta \varphi \leq 0.75^\circ$

0.0025°

optional, for vertical scanner setup position
(specifications to be found in separate datasheet)
option for real-time synchronized time stamping of scan data
(specifications to be found in separate datasheet)

- 7) Selectable via Ethernet interface or RS232.

- 8) Horizontal scan can be disabled, providing 2D-scanner operation.

General Technical Data

Interfaces: for configuration & data output
for configuration
for data output

Power Supply Input Voltage

Power Consumption

Current Consumption @ 12 V DC

@ 24 V DC

Main Dimensions

Weight

Temperature Range

Protection Class

TCP/IP Ethernet, 10/100 Mbit/sec

RS 232, 19.2 kbaud

ECP standard (enhanced capability port) parallel

12 - 28 V DC

typ. 78 W

max. 94 W

typ. 6.5 A

max. 7.8 A

typ. 3.25 A

max. 3.9 A

463 mm x 210 mm (length x diameter)

16 kg

0°C to +40°C (operation), -10°C to +50°C (storage)

IP64, dust and splash-proof




RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 3580 Horn, Austria
Tel.: +43-2982-4211, Fax: +43-2982-4210, E-mail: office@rlm.co.at
RIEGL USA Inc., Orlando, Florida 32819, USA
Tel.: +1-407-248-9927, Fax: +1-407-248-2636, E-mail: info@rieglusa.com
RIEGL Japan Ltd., Tokyo 1640013, Japan
Tel.: +81-3-3382-7340, Fax: +81-3-3382-5848, E-mail: info@riegl-japan.co.jp

www.riegl.com

Information contained herein is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by RIEGL for its use. Technical data are subject to change without notice.

Data sheet, LMS-Z420i, 03/05/2010

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA CANON EOS 20D

			
User review rating: Canon EOS 20D		Flash integrado	Si
Brand	Canon	Flash externo	Si
Type	EOS 20D	Tipo de flash externo	Hot-shoe
Resolución	8.50 Mpixel	Medición de luz	Centre weighted Evaluative Spot
Resolución máxima	3504x2336	Compensación de exposición	-2EV - +2EV in 1/3 - 1/2 steps
Resolución mínima	1728x1152	Balance de blancos	Auto Cloudy Daylight Flash Fluorescent Incandescent Manual Shadow
Tamaño del sensor	22.5x15mm	Función de vídeo	No
Tipo de sensor	CMOS	Sonido en vídeo	No
Zoom óptico	n/a	Resolución máxima de vídeo	n/a
Multiplicador focal	1.6	Resolución mínima de vídeo	n/a
Angular (mm)	n/a	Fotogramas por segundo (fps)	0
Teleobjetivo (mm)	n/a	Grabación de voz	No
Zoom Digital	n/a	Visor óptico	Si
Autofocus	Si	Visor electrónico	No
Enfoque manual	Si	Pantalla LCD	Si
Distancia de enfoque (cm)	n/a	Tamaño de la LCD	1.8-inch
Distancia de enfoque en macro (cm)	n/a	Resolución de la LCD (pixels)	118,000
Modos de flash	anti red-eye auto fill in off slow flash	Autodisparador	Si
Tipo de almacenamiento	CompactFlash type I CompactFlash type II Microdrive	USB	USB 2.0
Sensibilidad ISO	auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200	Salida TV	Si
Prioridad de apertura	Si	Firewire	No
Apertura mínima en angular	n/a	BlueTooth	No
Apertura máxima en angular	n/a	Formato de imagines	JPEG RAW
Apertura mínima en tele	n/a	Alimentación	Li-Ion
Apertura máxima en tele	n/a	Peso bruto	685g.
Prioridad de velocidad	Si	Dimensiones (mm)	144x105.5x71.5
Velocidad mínima (sec)	30		
Velocidad máxima (sec)	1/8000		
Disparo en ráfaga (fps)	5		

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO GPS LEICA 1200

Datos técnicos

GPS1200

8-1

8 Datos técnicos

En este capítulo	Tema	Página
	8.1 Características de rastreo del Receptor	8-2
	8.2 Precisión	8-5
	8.3 Datos Técnicos Generales del Receptor	8-7
	8.4 Antenas	8-14
	8.5 RX1210	8-19
	8.6 Módulo de comunicación Bluetooth y teléfonos móviles digitales	8-21

8.1 Características de rastreo del Receptor

Tecnología GPS	SmartTrack											
Recepción de satélite	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro:	Doble frecuencia										
	GX1210:	Una frecuencia										
Canales del receptor	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro:	Rastreo continuo en 12 canales en L1 y L2										
	GX1210:	Rastreo continuo en 12 canales en L1										
Códigos empleados	<table><tr><th>Tipo</th><th>L1</th><th>L2</th></tr><tr><td>GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro</td><td>Fase portadora, código C/A</td><td>Fase portadora, código P2</td></tr><tr><td>GX1210</td><td>Fase portadora, código C/A</td><td>-</td></tr></table>			Tipo	L1	L2	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro	Fase portadora, código C/A	Fase portadora, código P2	GX1210	Fase portadora, código C/A	-
Tipo	L1	L2										
GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro	Fase portadora, código C/A	Fase portadora, código P2										
GX1210	Fase portadora, código C/A	-										

Datos técnicos

GPS1200

8-2



Datos técnicos

GPS1200

8-3

Rastreo de portadora

Condición	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro	GX1210
L1, AS activado o desactivado	Fase portadora reconstruida mediante código C/A	Fase portadora reconstruida mediante código C/A
L2, AS desactivado	Fase portadora reconstruida mediante código P2	-
L2, AS activado	Cambia automáticamente a la técnica patentada de código P auxiliar siempre y cuando la fase portadora L2 esté reconstruida	-

Mediciones de código

Condición	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro	GX1210
L1, AS desactivado L1, AS activado	Mediciones de código suavizadas por la fase portadora: código C/A	Mediciones de código C/A suavizadas por la fase portadora

Condición	GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro	GX1210
L2, AS desactivado	Mediciones de código suavizadas por la fase portadora: código P2	-
L2, AS activado	Mediciones de código suavizadas por la fase portadora: código P patentado-código auxiliar	-



Las mediciones de fase portadora y de código en L1 y L2 son completamente independientes con AS activado o desactivado.

Satélites rastreados

GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro:	Hasta 12 canales simultáneamente en L1 y L2
GX1210:	Hasta 12 canales simultáneamente en L1

Datos técnicos

GPS1200

8-4

8.2 Precisión



La precisión depende de varios factores, incluyendo el número de satélites rastreados, la geometría de la constelación, el tiempo de observación, la precisión de las efemérides, las perturbaciones ionosféricas, el efecto multitrayectoria y las ambigüedades resueltas.

Las siguientes precisiones, indicadas como error medio cuadrático, están basadas en mediciones procesadas empleando LGO y en mediciones en tiempo real.

Código diferencial

Para todos los receptores, la precisión de la línea base con una solución de código diferencial para levantamientos estáticos y cinemáticos es de 25 cm.

Fase diferencial en post-proceso

Líneas base normales con GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro con AX1202

Estático		Cinemático	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm	20 mm + 1 ppm

Líneas base largas con GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro más AT504

Estático	
Horizontal	Vertical
3 mm + 0.5 ppm	6 mm + 1 ppm

Líneas base cortas con GX1210 más AX1201

Estático		Cinemático
Horizontal	Vertical	
10 mm + 1 ppm	20 mm + 2 ppm	20 mm + 2 ppm

Fase diferencial en tiempo real

GX1230/GX1220/GRX1200/GRX1200 Pro más AX1202

Estático		Cinemático	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm	20 mm + 1 ppm



Datos técnicos

GPS1200

8-7

8.3 Datos Técnicos Generales del Receptor

Dimensiones

Las dimensiones se presentan para la cubierta sin los conectores.

Tipo	Largo [m]	Alto [m]	Ancho [m]
Todos los receptores	0.212	0.166	0.079

Peso

El peso del Receptor sin batería ni radio es de:

Tipo	Peso [kg]
GX1230/GX1220/GX1210/GRX1200	1.2
GRX1200 Pro	1.3

Registro

Los datos pueden ser registrados en una tarjeta CompactFlash o en la memoria interna, en caso de estar integrada.

Tipo	Capacidad [MB]	Capacidad de datos
Tarjeta CompactFlash	<ul style="list-style-type: none">• 32• 256	32 MB es suficiente para aproximadamente <ul style="list-style-type: none">• 550 hrs. de registro de datos en L1 + L2 con un intervalo de 15 seg.• 2200 hrs. de registro de datos en L1 + L2 con un intervalo de 60 seg.• 45000 puntos en tiempo real con códigos
Memoria interna	<ul style="list-style-type: none">• 32• 256	

Energía

Consumo de energía: GX1230/GX1220/GX1210, sin radio ni RX1200 :
Típicamente 3.8 W, 320 mA

Tensión de fuente de alimentación externa: Nominal 12 V DC (---, GEV71 cable para batería de automóvil a batería de automóvil de 12 V), rango de tensión 10.5-28 V DC

Batería interna

Tipo: Li-Ion
Tensión: 7.4 V
Capacidad: GEB221: 3.8 Ah

Batería externa

Tipo: NiMH

Datos técnicos

GPS1200

8-8

Datos técnicos

GPS1200

8-9

Tensión:	12 V
Capacidad:	GEB171: 8.0 Ah

Tiempos de Operación

Los tiempos de operación que se muestran son válidos para

- todos los receptores, excepto GRX1200 Pro.
- los receptores más la antena más RX1200, sin iluminación del teclado y sin calentamiento de pantalla.
- dos baterías GEB221 con carga completa.
- temperatura ambiente. Los tiempos de operación serán más cortos al trabajar con bajas temperaturas.

Equipo			Tiempo de operación
Tipo	Radio	Teléfono móvil digital	
Estático	-	-	15 hrs. continuas
Móvil	Pacific Crest PDL, receptor	-	10 hrs. continuas
Móvil	-	Siemens MC45	10 hrs. continuas

Especificaciones ambientales
Temperatura

Tipo	Temperatura de operación [°C]	Temperatura de almacenamiento [°C]
GX1230/GX1220/ GX1210/GRX1200	-40 a +65	-40 a +80
GRX1200 Pro, sin utilizar el puerto NET	-25 a +65	-25 a +70
GRX1200 Pro, utilizando el puerto NET	0 a +45	-25 a +70
Tarjetas Leica CompactFlash, todas las capacidades	-40 a +80	-40 a +80
Batería interna	-20 a +55	-40 a +70

Datos técnicos

GPS1200

8-10



Datos técnicos

GPS1200

8-11

Protección contra agua, polvo y arena

Tipo	Protección
Todos los receptores	IP67 (IEC 60529) Contra polvo Estanco al agua a 1 m de inmersión temporal

Humedad

Tipo	Protección
Todos los receptores	Hasta 100 % Los efectos de la condensación se pueden contrarrestar en forma efectiva secando periódicamente el receptor.

Salida PPS

Para GX1200 con opción PPS/Marca de Tiempo y GRX1200 Pro

Características de salida PPS:

Pico: 3.3 V = Alto
Impedancia: 50 Ω
Longitud del pulso: 1 ms
Extremo inicial: Coincidente con el inicio de cada época.
Extremo negativo/positivo: A seleccionar mediante RX1200.

Conexión de cables:

Adaptado con una impedancia apropiada de: 50 Ω

Tipo de conector: Huber & Suhner FFA.0S.CTAC32Z

Marca de tiempo

Para GX1200 con opción PPS/Marca de Tiempo y GRX1200 Pro

Tipo de pulso: TTL, pulso de salida positivo o negativo
Longitud del pulso: 125 ns como mínimo
Voltaje: Nivel TTL, ~ 5 V, min. 3.3 V
Definición de pines: Central = señal, Externo = tierra
Tipo de conector: Huber & Suhner LEMO Tipo II FFA.00.250.CTAC32Z

Entrada de oscilador externo

Para GRX1200 Pro

Entrada de reloj externo:

Datos técnicos

GPS1200

8-12

Frecuencia:	5 MHz o 10 MHz
Impedancia de entrada:	50 Ω nominal
Entrada VSWR:	2:1 máximo
Nivel de señal:	0 dBm mínimo a +13.0 dBm máximo
Estabilidad de frecuencia:	± 0.5 ppm máximo
Forma de la onda:	Sinusoidal
Conector:	MMCX hembra

8.4 Antenas

Descripción y uso

La antena GPS se elige dependiendo de la aplicación. La siguiente tabla ofrece una descripción y el uso de antenas individuales.

Tipo	Descripción	Uso
AX1201	Antena SmartTrack L1 con plano de tierra integrado.	Con receptor GX1210 .
AX1202	Antena SmartTrack L1/L2 con plano de tierra integrado.	Con receptor GX1220 o GX1230.
AT504	Antena Dorne & Margolin L1/L2 con plano de tierra de bobina anular anodizada con oro. Cumple con las especificaciones de antena IGS tipo 'T', diseño JPL. Cubierta de protección climática opcional.	Con GX1220, GX1230, GRX1200 o GRX1200 Pro cuando se requiera mayor precisión. Por ejemplo, para levantamientos estáticos de líneas base largas, vigilancia de placas tectónicas y estaciones de referencia.

Dimensiones

Tipo	AX1201	AX1202	AT504
Altura	6.2 cm	6.2 cm	14.0 cm

Datos técnicos

GPS1200

8-15

Tipo	AX1201	AX1202	AT504
Diámetro	17.0 cm	17.0 cm	38.0 cm

Conector	AX1201/AX1202:	TNC hembra
	AT504:	N hembra

Montaje	AX1201/AX1202/AT504:	5/8" Whitworth
---------	----------------------	----------------

Peso	AX1201/AX1202:	0.44 kg
	AT504	4.3 kg, cubierta protectora 1.1 kg

Datos eléctricos

Tipo	AX1201	AX1202	AT504
Voltaje:	4.75 a 15 V DC	4.75 a 15 V DC	4.75 a 15 V DC
Corriente	50 mA máximo	50 mA máximo	50 mA máximo
Frecuencia	GPS L1 1575.46 MHz	GPS L1 1575.46 MHz	GPS L1 1575.46 MHz
		GPS L2 1227.60 MHz	GPS L2 1227.60 MHz

Tipo	AX1201	AX1202	AT504
Ganancia	Tipicamente 27 dBi	Tipicamente 27 dBi	Tipicamente 27 dBi
Ruido significativo	Tipicamente < 2 dBi	Tipicamente < 2 dBi	3 dBi máx.
BW, -3 dBW	-	-	40 MHz mínimo
BW, -30 dBi	-	-	120 MHz máximo

Especificaciones ambientales

Temperatura

Tipo	Temperatura de operación [°C]	Temperatura de almacenamiento [°C]
Todas las antenas	-40 a +70	-40 a +70

Protección contra agua, polvo y arena

Tipo	Protección
AX1201/AX1202	IP66, IP67 (IEC 60529) Contra polvo

Datos técnicos

GPS1200

8-16

Tipo	Protección
	Protección contra salpicaduras Estanco al agua a 1 m de inmersión temporal
AT504	IP57 (IEC 60529) Protección contra polvo Estanco al agua a 1 m de inmersión temporal

Humedad

Tipo	Protección
AX1201/AX1202	Hasta 100 % Los efectos de la condensación se pueden contrarrestar en forma efectiva secando periódicamente la antena.
AT504	Hasta 92 % Los efectos de la condensación se pueden contrarrestar en forma efectiva secando periódicamente la antena.

Longitud del cable

Distancia de separación del receptor ...	a la antena	Longitudes de cables suministrados [m]	Longitudes de cables opcionales [m]
GX1230/GX1220/ GX1210	AX1202/AX1201	1.2 2.8	30 50 70
GRX1200	AX1202	1.2 2.8 10	30 50 70
GRX1200 Pro	AT504/AX1202	-	1.2 2.8 10 30

Datos técnicos

GPS1200

8-19

8.5 RX1210

Unidad de control

Pantalla: 1/4 VGA, monocromática, capacidad para gráficas
Teclado: 62 teclas, 12 teclas de función, iluminación
Caracteres: Máximo 256, juego de caracteres ASCII extendidos como estándar
Pantalla táctil: Película resistente sobre vidrio

Dimensiones

Tipo	Longitud [m]	Ancho [m]	Grosor [m]
RX1210	0.218	0.123	0.036

Peso

Tipo	Peso [kg]
RX1210	0.480

Especificaciones ambientales

Temperatura

Tipo	Temperatura de operación [°C]	Temperatura de almacenamiento [°C]
RX1210	-30 a +65	-40 a +80

Protección contra agua, polvo y arena

Tipo	Protección
RX1210	IP67 (IEC 60529) Contra polvo Estanco al agua a 1 m de inmersión temporal

Humedad

Tipo	Protección
RX1210	Hasta 100 % Los efectos de la condensación se pueden contrarrestar en forma efectiva secando periódicamente el RX1210.

Puertos

- 8 polos tipo LEMO 1 conector para energía y/o comunicación.
- Interfaz acoplable especial para energía y comunicación al GPS1200.

Datos técnicos


GPS1200

8-20

8.6 Módulo de comunicación Bluetooth y teléfonos móviles digitales

En este capítulo	Tema	Página
	8.6.1 GFU16, módulo de comunicación Bluetooth	8-22
	8.6.2 GFU17, Siemens MC45	8-23
	8.6.3 GFU18, teléfono móvil digital TDMA Ericsson DM25	8-25

8.6.1 GFU16, módulo de comunicación Bluetooth

Conformidad con regulaciones nacionales	<ul style="list-style-type: none"> FCC Parte 15 (aplicable en E.U.A.) Directiva Europea 1999/5/EC de equipos de radio y equipos para terminales de telecomunicaciones (véase la Declaración de Conformidad CE) La conformidad para países con otras regulaciones nacionales que no sean cubiertas por la FCC parte 15 o la directiva europea 1999/5/EC debe ser aprobada antes del uso y operación.
Banda de frecuencia	2402 - 2480 MHz
 Potencia de salida	Bluetooth Clase 2 tipo: 2.5 mW
Antena	Tipo Corrector interno de antena Ganancia 2.7 dBi



Datos técnicos

GPS1200

8-23

8.6.2 GFU17, Siemens MC45**Conformidad con regulaciones nacionales**

- FCC Parte 15 y 24 (aplicable en E.U.A.)
- Directiva Europea 1999/5/EC de equipos de radio y equipos para terminales de telecomunicaciones (véase la Declaración de Conformidad CE)
- La conformidad para países con otras regulaciones nacionales que no sean cubiertas por la FCC parte 15 y 24 o la directiva Europea 1999/5/EC debe ser aprobada antes del uso y operación.

Banda de frecuencia

Tri-Banda EGSM900 / GSM1800 / GSM1900 MHz

Potencia de salida

EGSM900: 2 W
GSM1800: 1 W
GSM1900: 1 W

Antenas

Tipo	GAT 3	GAT 5
Banda de frecuencia	900 o 1800 MHz	800 o 1900 MHz
Tipo	Antena 1/2 desmontable	Antena 1/2 desmontable
Ganancia	0 dBi	0 dBi
Conector	TNC	TNC

Rango de Absorción Específica (SAR)

El producto cumple con los límites de exposición máxima permisible de las directrices y estándares que rigen a este respecto. El producto debe utilizarse con la antena recomendada. Debe mantenerse una distancia de separación de por lo menos 20 centímetros entre la antena y el cuerpo del usuario o personal cercano.

Datos técnicos

GPS1200

8-24

8.6.3 GFU18, teléfono móvil digital TDMA Ericsson DM25**Conformidad con regulaciones nacionales**

- FCC Parte 15, 22 y 24 (aplicable en E.U.A)
- Directiva Europea 1999/5/EC de equipos de radio y equipos para terminales de telecomunicaciones (véase la Declaración de Conformidad CE)
- La conformidad para países con otras regulaciones nacionales que no sean cubiertas por la FCC parte 15, 22 y 24 o la directiva Europea 1999/5/EC debe ser aprobada antes del uso y operación

Banda de frecuencia

Doble banda TDMA800 / TDMA1900 MHz

Potencia de salida

TDMA800: 2 W
 TDMA1900: 0.4 W

Antena

Tipo	GAT 5
Banda de frecuencia	800 o 1900 MHz
Tipo	Antena 1/2 desmontable
Ganancia	0 dBi
Conector	TNC

Rango de Absorción Específica (SAR)

El producto cumple con los límites de exposición máxima permisible de las directrices y estándares que rigen a este respecto. El producto debe utilizarse con la antena recomendada. Debe mantenerse una distancia de separación de por lo menos 20 centímetros entre la antena y el cuerpo del usuario o personal cercano.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO GPS LEICA 500

Especificaciones Técnicas

Características de recepción del SR520, SR530, MC500, RS500, GS50+

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del GPS System 500.

Recepción de satélites: Doble frecuencia	Mediciones de código L1, AS desactivado: Medidas de código suavizadas por la fase portadora: código C/A de correlación estrecha, código P1
Canales de recepción: 12 L1 rastreo continuo 12 L2 rastreo continuo	
Canales L1: Fase portadora, código P1, código C/A	L1, AS activado: Medidas de código suavizadas por la fase portadora: Código C/A de correlación estrecha, técnica auxiliar de código P patentado
Canales L2: Fase portadora, código P2	
Medición de fase portadora L1, AS activado/desactivado: Fase portadora reconstruida mediante el código C/A	L2, AS desactivado: Medidas de código suavizadas por la fase portadora: Código P2
L2, AS desactivado: Fase portadora reconstruida mediante el código P2	L1, AS activado: Medidas de código suavizadas por la fase portadora: Técnica auxiliar de código P2 patentado
L2, AS activado: Cambia automáticamente a la técnica auxiliar de código P patentado, siempre y cuando la fase portadora L2 esté reconstruida.	

Características de recepción del SR510 / GS50

Antenas GPS

Nota:



Las medidas de fase portadora y de código en L1 y L2 son completamente independientes, con AS activado o desactivado.

Satélites rastreados:

Hasta 12 simultáneamente en L1 y L2

Tiempo de espera antes de la primera medición de fase: típicamente 30 segundos.

Recepción de satélites:

Una frecuencia

Canales de recepción:

12 L1 rastreo continuo

Canales L1:

Fase portadora, código C/A de correlación estrecha

Fase portadora en L1:

Fase portadora reconstruida mediante el código C/A

Mediciones de código en L1:

Medidas de código C/A suavizadas por la fase portadora

Satélites rastreados:

Hasta 12 simultáneamente

Tiempo de espera antes de la primera medición de fase: típicamente 30 segundos.

AT504

Antena de bobina anular L1/L2 de diseño Dorne&Margolin con plano de tierra, según especificaciones IGS tipo "T". Cubierta de protección climática opcional.

AT503

Antena microstrip L1/L2 con plano de tierra anular. Cubierta de protección climática opcional

AT502

Antena microstrip L1/L2, con plano de tierra integrado.

AT501

Antena microstrip L1 con plano de tierra integrado.

RTB

Antena GPS combinada L1/antena de radiofaro.

RTS

Antena GPS combinada L1/antena de banda L.

Especificaciones ambientales

Consumo de energía

Peso del equipo

Instrumento	Operación	Almacenamiento
SR530	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
SR520	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
SR510	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
MC500	-20°C a +60°C	-40°C a +70°C
RS500	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
GS50+	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
GS50	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C
AT501/ AT502/ AT503 AT504	-40°C a +75°C	-40°C a +75°C
Tarjetas PC Leica de todas capacidades	-20°C a +75°C	-40°C a +75°C
Memoria interna opcional	-20°C a +55°C	-40°C a +70°C

Humedad:

Hasta 95%, no condensante
MC500: 100%, no condensante

Condiciones ambientales:

Resistente a la lluvia, nieve, polvo,
arena, etc.

Consumo de energía

SR530:	máximo 7 vatios (sin incluir el radio)
SR520:	máximo 5.5 vatios
SR510:	máximo 5.5 vatios
MC500:	máximo 7 vatios (sin incluir el radio)
RS500:	máximo 7 vatios (sin incluir los accesorios)
GS50+:	máximo 7 vatios (sin incluir el radio)
GS50 :	máximo 5.5 vatios

Voltaje requerido

Todo el equipo:	Nominal 12V DC (Rango 11-16V DC)
-----------------	--

Receptores

SR530:	1.25 kg
SR520:	1.15 kg
SR510:	1.15 kg
MC500:	3.10 kg
RS500:	1.25 kg
GS50+ :	1.25 kg
GS50 :	1.15 kg

Antenas

AT504:	4.3 kg
AT503:	2.4 kg
AT502:	0.4 kg
AT501:	0.4 kg

Distancias de separación

Precisión de la línea base

Del SR510/SR52/SR530/GS50/GS50+ a la antena AT502 o AT501

Cables suministrados: 1.2m o 2.8m
Cable opcional: 30m
Cables de mayor longitud, sobre pedido.

MC500 to AT502 Antenna

Cables suministrados: 1.2m, 2.8m o 10m
Cable opcional: 30m
Cables de mayor longitud, sobre pedido.

Del RS500 a la antena AT504, AT503 o AT502

Cable opcional: 1.2m, 2.8m, 10m, 30m
Cables de mayor longitud, sobre pedido.

Los siguientes valores están basados en mediciones procesadas con el programa SKI y se indican en valores emc (error medio cuadrático).

Fase diferencial

Operación	Estático con Antena de bobina anular	Estático	Estático rápido	Parar y seguir	Cinemático
SR530	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
SR520	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
SR510	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
MC500	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
RS500	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
GS50+	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm
GS50	3mm + 0.5ppm	5mm + 1ppm	5mm + 1ppm	10mm + 1ppm	10mm + 1ppm

Código diferencial

Operación	SR530	SR520	SR510	MC500	RS500	GS50	GS50+
Estático	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm
Cinemático	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm



Nota:

La precisión de la línea base depende de diversos factores como el número de satélites observados, la geometría de la constelación, el tiempo de observación, las efemérides, las perturbaciones ionosféricas, el efecto multitrayectoria y la resolución de ambigüedades.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ESTACIÓN TOTAL LEICA 405

Datos técnicos

Anteojo

- Totalmente basculable
- Aumentos: 30x
- Imagen: derecha
- Diámetro libre del objetivo: 40 mm
- Distancia mínima de enfoque: 1.7 m (5.6 ft)
- Enfoque: fino
- Campo visual: 1°36' (1.6gon)
- Campo visual del anteojo a 100m: 2.6 m

Medición de ángulos

- absoluta, continua
- Tiempo de repetición 0.3 segundos
- Unidades elegibles
 - 360° (sexag.), 400gon,
 - 360° decimal, 6400 mil, $\frac{1}{10000}$, $\pm V$
- Precisión Desviación típica Hz, V
(según ISO 17123-3)
 - TC(R)403 3" (1 mgon)
 - TC(R)405 5" (1.5 mgon)
 - TC(R)407 7" (2 mgon)

Resolución en pantalla

- gon 0.0005
- 360d 0.0005
- 360s 1"
- mil 0.01

Sensibilidad de los niveles

- Nivel esférico: 6 1/2 mm

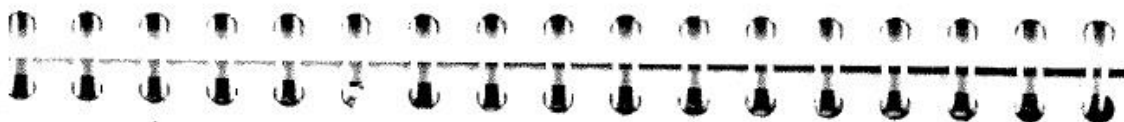
Compensador:

- Compensador de dos ejes
- Amplitud de oscilación libre $\pm 4'$ (0.07 gon)
- Precisión de estabilización:
 - TC(R)407 2" (0.7 mgon)
 - TC(R)405 1.5" (0.5 mgon)
 - TC(R)403 1" (0.3 mgon)

TPS400-3.0.0es

136

Datos técnicos



Plomada láser

- Situación: en el eje principal del producto
- Precisión: Desviación de la línea
..... de la plomada 1.5 mm
..... (2 sigma) a 1.5 m de altura
..... del producto
- ϕ del punto láser 2.5 mm / 1.5 m

Teclado:

- Ángulo de inclinación: 70°
- segundo teclado opcional

Pantalla:

- retroiluminada
- Calefacción (Temp. < -5°C)
- pantalla LCD: 280 x 160 Pixel
- 8 líneas de 31 caracteres cada una

Tipo de base nivelante:

- Tipo de base nivelante amovible GDF111e
rosca: 5/8" (DIN 18720 / BS 84)

Dimensiones:

- Producto:
 - Altura (incl. base nivelante y asa):
- con base GDF111 360 mm \pm 5 mm
 - Ancho: 203 mm
 - Longitud: 151 mm
- Maletín: 468x254x355 mm
..... (largo x ancho x alto)

Peso:

- (incl. batería y base nivelante):
• con base GDF111 5.2 kg

Altura del eje de muñones:

- sin base nivelante 196 mm
- con base GDF111 240 mm \pm 5 mm

Alimentación eléctrica:

- Batería GEB111: NiMH
Tensión: 6V
Capacidad: 2100 mAh
- Batería GEB121: NiMH
Tensión: 6V
Capacidad: 4200 mAh

Datos técnicos

137

TPS400-3.0.0es

Alimentación externa
(vía interfaz serie)
..... Al usar un cable externo
..... para la alimentación, la
..... tensión ha de estar
..... comprendida entre 11.5V y 14V (CC)

Número de mediciones (ángulos + distancia):
GEB111: aprox. 4000
GEB121: aprox. 9000

Rango de temperaturas:

Tipo	Temperatura de funcionamiento	Temperatura de almacenamiento
PS400	-20°C a +50°C / -4°F a +122°F	-40°C a +70°C / -40°F a +158°F
Batería interna	-20°C a +50°C / -4°F a +131°F	-40°C a +55°C / -40°F a +131°F

Correcciones automáticas:

Error de colimación si
Error de índice vertical si
Curvatura terrestre si
Refracción si
Corrección de inclinaciones si

Grabación:

• Interfaz RS232 si
• Memoria interna Si
Capacidad total 576 KB
..... ≈ 10000 bloques de datos o
..... ≈ 16000 puntos fijos

PS400-3.0.0es

138

Datos técnicos

Medida de distancias (IR: infrarrojo)

Tipo infrarrojo
Longitud de la onda portadora 0.780 μm
Sistema de medición Sistema de
..... frecuencia especial
..... Base 100 Mhz ± 1.5 m
Disposición del EDM coaxial
Unidad mínima en pantalla 1 mm

Programas de medición	Precisión * (Desviación típica según ISO 17123-4)	Tiempo de medición
R-prec	2 mm + 2 ppm	<1 seg.
R-rapid	5 mm + 2 ppm	<0.5 seg.
R-tracking	5 mm + 2 ppm	<0.3 seg.
R-Diana	5 mm + 2 ppm	<0.5 seg.

La interrupción del rayo, un fuerte centelleo por el calor u objetos moviéndose en la trayectoria del rayo pueden afectar negativamente a la precisión especificada.

Alcance: (Medición normal y rápida)

	Prisma estándar	3 prismas (GPH3)	Reflector 360°	Diana reflectante 60x60	Mini-prisma	Mini-prisma 360°
1	1800 m (6000 ft)	2300 m (7500 ft)	800 m (2600 ft)	150 m (500 ft)	800 m (2600 ft)	450 m (1500 ft)
2	3000 m (10000 ft)	4500 m (14700 ft)	1500 m (5000 ft)	250 m (800 ft)	1200 m (4000 ft)	800 m (2600 ft)
3	3500 m (12000 ft)	5400 m (17700 ft)	2000 m (7000 ft)	250 m (800 ft)	2000 m (7000 ft)	1000 m (3500 ft)

- 1) Muy brumoso, visibilidad 5km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- 2) Poco brumoso, visibilidad aprox. 20km; o parcialmente soleado y poco centelleo por el calor
- 3) Cubierto, sin bruma, visibilidad aprox. 40km; sin centelleo del aire

Medición de distancias (RL: visible)

- Tipo..... láser rojo visible
- Longitud de la onda portadora..... 0.670 μ m
- Sistema de medición..... Sistema de frecuencia especial
..... Base 100 Mhz Δ 1.5 m
- Disposición del EDM..... coaxial
- Unidad mínima en pantalla..... 1 mm
- Dimensión del rayo láser: aprox. 7x 14 mm / 20 m
..... aprox. 12 x 14 mm / 100 m

Medida de distancias (sin reflector)

- Alcance de medición:
Power..... 1.5 m a 300 m
..... (a tablilla de puntería art. no. 710 333)
- Ultra..... 1.5 m a >500 m
..... (a tablilla de puntería art. no. 710 333)
- Indicación unívoca de la medida..... bis 760 m
- Constante del prisma:..... + 34.4 mm

Power: Alcance (sin reflector)

Condiciones atmosféricas	sin reflector (superf. blanca)*	sin reflector (gris, albedo 0.25) *
4	140 m (460 ft)	70 m (230 ft)
5	170 m (560 ft)	100 m (330 ft)
6	>170 m (560 ft)	>100 m (330 ft)

Ultra: Alcance (sin reflector)

Condiciones atmosféricas	sin reflector (superf. blanca)*	sin reflector (gris, albedo 0.25) *
4	300 m (990 ft)	200 m (660 ft)
5	500 m (1640 ft)	300 m (990 ft)
6	>500 m (>1640 ft)	>300 m (>990 ft)

- * Grey Card de Kodak utilizada para fotómetros de luz reflejada.
- Objeto intensamente iluminado, fuerte centelleo por el calor
 - Objeto en sombra o con cielos cubiertos
 - Durante el crepúsculo, de noche o bajo tierra

TPS400-3.0.0es

140

Datos técnicos



Programas de medición	Precisión ** (Desviación típica según ISO 17123-4)	Tiempo de medición
Corto	3 mm + 2 ppm	3.0 seg. +1.0 seg./10m > 30m
Prisma	5 mm + 2 ppm	2.5 seg.
Tracking	5 mm + 2 ppm	1.0 seg. +0.3 seg./10m > 30m

** La interrupción del rayo, un fuerte centelleo por el calor u objetos moviéndose en la trayectoria del rayo pueden afectar negativamente a la precisión especificada.

Medida de distancias (con reflector)

- Rango de medición..... a partir de 1000 m
- Indicación unívoca de la medida..... 12 km

Ultra y Power: Alcance (con reflector)

Condiciones atmosféricas	Prisma estándar	Diana reflectante 60x60
1	2200 m (7200 ft)	600 m (2000 ft)
2	7500 m (24600 ft)	1000 m (3300 ft)
3	> 10000 m (33000 ft)	1300 m (4200 ft)

- Muy brumoso, visibilidad 5km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- Poco brumoso, visibilidad aprox. 20km; o parcialmente soleado y poco centelleo por el calor
- Cubierto, sin bruma, visibilidad aprox. 40km; sin centelleo del aire

Datos técnicos

TPS400-3.0.0es

Corrección atmosférica

La distancia que se muestra en pantalla es correcta solo si la corrección de escala en ppm (mm/km) introducida corresponde a las condiciones atmosféricas reinantes en el momento de la medición.

La corrección atmosférica tiene en cuenta la presión y la temperatura.

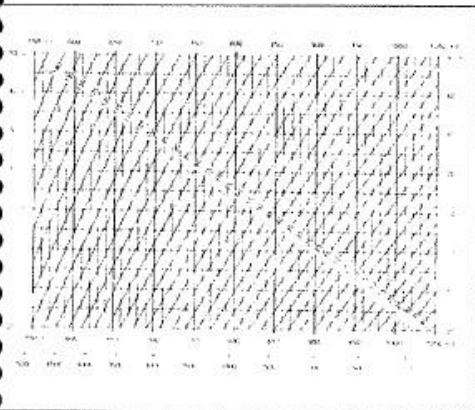
Para mediciones de distancia de la máxima precisión hay que determinar la corrección atmosférica con una precisión de 1 ppm, se debe determinar la temperatura con una precisión de 1°C y la presión, con una precisión de 3mb.

TPS400-3.0.0es

142

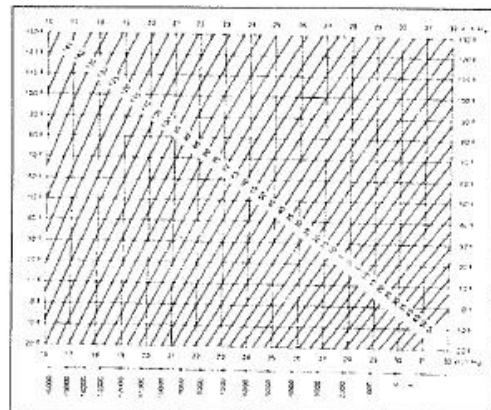
Datos técnicos

Corrección atmosférica en ppm con °C, mb, H (metros), con una humedad relativa del aire del 60%.



YC400Z105

Corrección atmosférica en ppm con °F, pulgadas Hg, H (pies), para una humedad relativa del aire del 60%.



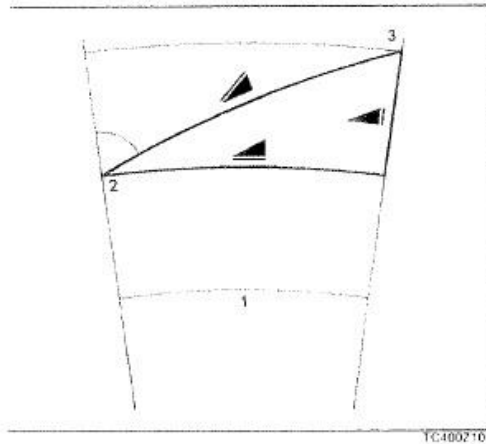
YC400Z106

Datos técnicos

143

TPS400-3.0.0es

Fórmulas de reducción



El producto calcula la distancia geométrica, la distancia horizontal y la diferencia de cotas según las fórmulas siguientes. Se tienen en cuenta automáticamente la curvatura terrestre y el coeficiente medio de refracción ($k=0.13$). La distancia horizontal calculada se refiere a la altura de la estación y no a la altura del reflector.

$$\text{---} = D_0 \cdot (1 + \text{ppm} \cdot 10^{-6}) + \text{mm}$$

--- = distancia geométrica visualizada [m]
 D_0 = distancia sin corregir [m]
 ppm = corrección de escala [mm/km]
 mm = constante del prisma [mm]

$$\text{---} = Y - A \cdot X \cdot V$$

$$\text{---} = X + B \cdot Y_2$$

--- = distancia horizontal [m]
 --- = diferencia de cotas [m]

Medición de altura

- 1) Nivel del mar
- 2) producto
- 3) Reflector

IPS400-3.0.0es

144

Datos técnicos



$Y = \text{---} \cdot |\sin \zeta|$
 $X = \text{---} \cdot \cos \zeta$
 $\zeta = \text{lectura del círculo vertical}$

$$A = \frac{1 - k/2}{R} = 1.47 \cdot 10^{-7} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$B = \frac{1 - k}{2R} = 6.83 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$k = 0.13$$

$$R = 6.37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Datos técnicos

IPS400-3.0.0es

Datos técnicos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ESTACIÓN TOTAL LEICA 705

Datos técnicos

Teclado

- Ángulo de inclinación: 70°
- Superficie: 110x75 mm
- número de teclas: 24 más ON y disparador de medición (en el lateral)

Posición	En ambos lados En posición II como opción
Conjunto de caracteres	Conjunto de caracteres ASCII ampliado (estándar). Se puede cargar un juego de caracteres adicional (opción).

Pantalla:

- iluminable
- calefacción (Temp. < -5°C)
- pantalla LCD: 144x64 Pixel
- 8 líneas de 24 caracteres cada una

Tipo de base nivelante:

- amovible GDF111/GDF121 5/8"
- rosca: (DIN 18720 / BS 84)

Dimensiones:

- Instrumento:

Altura (incl. base nivelante y asa):

- con base GDF111 360 mm ± 5 mm

- con base GDF121 358 mm ± 5 mm

Anchura: 150 mm

Longitud: 207 mm

- Maletín: 468x254x355 mm (largo x ancho x alto)

Tipo	Peso (redondeado)
TC/ TCR	4,6 kg (10.1 lbs)
TC/ TCR (auto)	4,8 kg (10.6 lbs)
Base nivelante GDF 111	0,6 kg (1,3 lbs)
Base nivelante GDF 121	0,8 kg (1,8 lbs)
Módulo de batería GEB 111	0,2 kg (0,45 lbs)
GEB 121	0,4 kg (0,9 lbs)

Altura del eje de muñones:

- sin base nivelante 196 mm
- con base GDF111 240 mm ± 5 mm
- con base GDF121 238 mm ± 5 mm

Alimentación eléctrica:

- Batería GEB111: NiMh (0% cadmio) 6V, 1800 mAh
- Batería GEB121: NiMh (0% cadmio) 6V, 3600 mAh
- Tensión: 6V, 1800 mAh
- Tensión: 6V, 3600 mAh
- Adaptador de batería GAD39: 6 x LR6/AA/AM3, 1.5V, sólo pilas alcalinas
- Alimentación externa (vía interfaz serie) Al usar un cable externo para la alimentación, la tensión ha de estar comprendida entre 11.5V y 14V (CC).

Datos técnicos

GEB 121	Número de mediciones (ángulos + distancia)
TC/ TC(R)	2000
TC/ TCR auto	600

Rango de temperaturas:

- Almacén: -40°C a +70°C
-40°F a +158°F
- Funcionamiento: -20°C a +50°C
-4°F a +122°F

Correcciones automáticas

- Error de colimación
- Error de índice vertical
- Curvatura terrestre
- Refracción
- Corrección de inclinaciones

Grabación

- Interfaz RS232
 - Memoria interna (Flashmemory)
 - Capacidad total
- ≈ 4500 bloques de datos y
≈ 7000 puntos fijos

Mandos laterales

- Cantidad Hz/V
- Marcha

1 Hz, 1V
infinito

Otros mandos

- TC(R) auto

motorizado

Auxiliar de puntería EGL

- Rango de trabajo:

5m - 150m
(15 ft - 500 ft)

- Margen de posicionado
- a 100 m:
- Visualización izquierda/derecha: si

50mm

Datos técnicos



Programas de aplicación

Ver "Manual de campo" TPS700.

Programas integrados

- Excentricidad del prisma
- Introducción manual de coordenadas
- Orientación 1 pto.
- Conversor de datos (formatos flexibles GSI, ASCII).
- Estación libre, incl. Intersección inversa

Hasta 5 puntos de enlace, con o sin medición de distancias

- Orientación y arrastre de cotas

Hasta 5 puntos de enlace

- Replanteo
- Distancia entre dos puntos
- Determinación de cotas y coordenadas de puntos inaccesibles
- Cálculo de superficies
- Cálculo de la superficie y el perímetro de una poligonal cerrada
- Línea de referencia / Alineación
- Editor de ficheros

TPS 700 Manual de empleo 2.0es

Datos técnicos

Medición de distancias (infrarojo)

- Tipo infrarojo
- Longitud de la onda portadora 0.780 µm
- Sistema de medición Sistema de frecuencia especial Base 100 MHz ± 1.5 m
- Disposición del EDM coaxial
- Unidad mínima en pantalla 1 mm

Programas de medición	Precisión ** (desviación típica)	Tiempo de medición
IR-PRECISO	2 mm + 2 ppm	1.0 seg.
IR-RAPIDO	5 mm + 2 ppm	0.5 seg.
IR-TRACK	10 mm + 2 ppm	< 0.15 seg.
IR-DIANA	5 mm + 2ppm	1.0 seg.

** La interrupción del rayo, un fuerte centelleo por el calor u objetos moviéndose en la trayectoria del rayo pueden afectar negativamente a la precisión especificada.

Constantes de prismas

- Prisma estándar 0.0 mm
- Reflector 360° +23.1 mm
- Diana reflectante +34.4 mm
- Miniprisma +17.5 mm

	Alcance (Medición normal y rápida)				
	Prisma estándar	3 prismas (GPH3)	Reflektor 360°	Diana reflectante 60 x 60	Miniprisma
1	1800 m (6000 ft)	2300 m (7500 ft)	800 m (2600 ft)	150 m (500 ft)	800 m (2600 ft)
2	3000 m (10000 ft)	4500 m (14700 ft)	1500 m (5000 ft)	250 m (800 ft)	1200 m (4000 ft)
3	3500 m (12000 ft)	5400 m (17700 ft)	2000 m (7000 ft)	250 m (800 ft)	2000 m (7000 ft)

Condiciones atmosféricas:

- 1) muy brumoso, visibilidad 5km o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- 2) poco brumoso, visibilidad 20km o parcialmente soleado y poco centelleo del aire
- 3) cubierto, sin bruma, visibilidad 40km, sin centelleo del aire

Distancia mínima

- Prisma estándar 0.2 m
- Reflector 360° 1.5 m
- Diana reflectante 1.5 m
- Miniprisma 0.2 m



La medición sobre dianas es posible en todo el rango de distancias de sin óptica auxiliar externa (GDV3).

Datos técnicos

66

TPS 700 Manual de empleo 2.0es

Datos técnicos

Medición de distancias (sin reflector y Long Range)

- Tipo
láser visible rojo
- Longitud de la onda portadora
0.670 μm
- Sistema de medición
Sistema de frecuencia especial
Base 100 MHz \pm 1.5 m
- Disposición del EDM
coaxial
- Unidad mínima en pantalla
1 mm
- Rayo láser Dimensión:
ca. 7 x 14 mm / 20 m
ca. 10 x 20 mm / 50 m

Medición estándar	Precisión ** (desviación típica)	Tiempo de medición
RL-CORTO	3 mm + 2 ppm	3.0 seg. (+1.0 seg./10m > 30m)
RL-TRACK	5 mm + 2 ppm	1 seg. (+0.3 seg./10m) max 8 seg.
RL-PRISMA	5 mm + 2 ppm	2.5 seg.

** La interrupción del rayo, un fuerte centelleo por el calor u objetos moviéndose en la trayectoria del rayo pueden afectar negativamente a la precisión especificada.

Medición de distancias (sin reflector)

- Rango de medición:
1.5 m hasta 80 m
(con tabilla de puntería n°.art. 710333)
- Indicación unívoca de la medida:
bis 760 m
- Constante del prisma:
+ 34.4 mm

Condiciones atmosféricas	Alcance (sin reflector)	
	sin reflector (super f. blanca)*	sin reflector (gris, albedo 0.25)
4	60 m (200 ft)	30 m (100 ft)
5	80 m (260 ft)	50 m (160 ft)
6	80 m (260 ft)	50 m (160 ft)

- Grey Card de Kodak utilizada para fotómetros de luz reflejada.

- Objeto intensamente iluminado, fuerte centelleo por el calor
- Objeto en sombra o con cielos cubiertos
- Durante el crepúsculo, de noche o bajo tierra

Medida de distancias(Long Range), RL-PRISMA

- Rango de medición
a partir de 1000 m
- Indicación unívoca de la medida:
12 km

Condiciones atmosféricas	Alcance (Long Range)	
	Prisma estándar	3 prismas (GPH3)
1	1500 m (5000 ft)	2000 m (7000 ft)
2	5000 m (16000 ft)	7000 m (23000 ft)
3	> 5000 m (16000 ft)	> 9000 m (30000 ft)

- muy brumoso, visibilidad 5km o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- poco brumoso, visibilidad 20km o parcialmente soleado y poco centelleo del aire
- cubierto, sin bruma, visibilidad 40km, sin centelleo del aire

Seguimiento automático del prisma ATR

Precisión de posicionado
(TC(R) auto / prisma estándar, sin
estático, una medición ATR)

Distancia	Precisión (Standard- abweichung)	Tiempo de medición
hasta 300 m	3 mm	3.0 seg.
> 300 m	*	3 - 4

* dependiendo de la precisión de
medición angular del instrumento

Alcance en modo ATR
(con condiciones medias, sin
interrupción de la visual)

Prisma estandar	Modo ATR
Reflector 360°	1000 m (3300 ft) 600 m (2000 ft)
Miniprisma	500 m (1600 ft)
Diana reflectante 60 x 60	65 m (200 ft)

Reconocimiento del prisma

Tiempo de búsqueda típico en el campo visual del anteojo	Medición normal = 2.5 seg + 1 seg. posicionado
Rango de búsqueda	>1°30' (1.66 gon)
Interrupción	si, breve

Prismas que pueden utilizarse

- Prismas estándar Si
- Reflektor 360° Si
- Miniprisma Si
- Diana reflectante Si

Prismas especiales activos no
necesario

Distancia mínima (Ref. 360°)

- ATR 1.5 m

Velocidad de giro

Posicionado hasta 50 gon/seg.

Método de captación

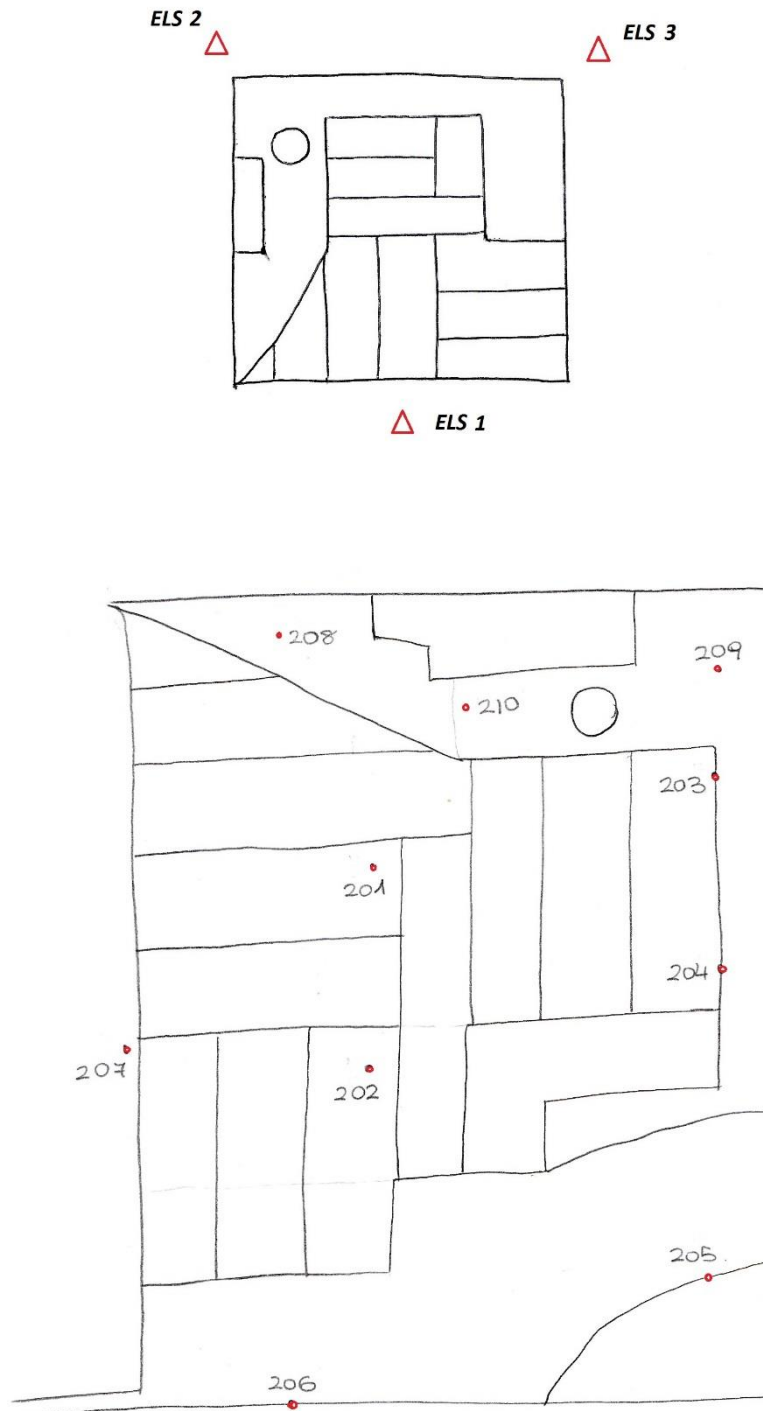
- Técnica video: Si
- Técnicas distanciómetro: No

Datos técnicos

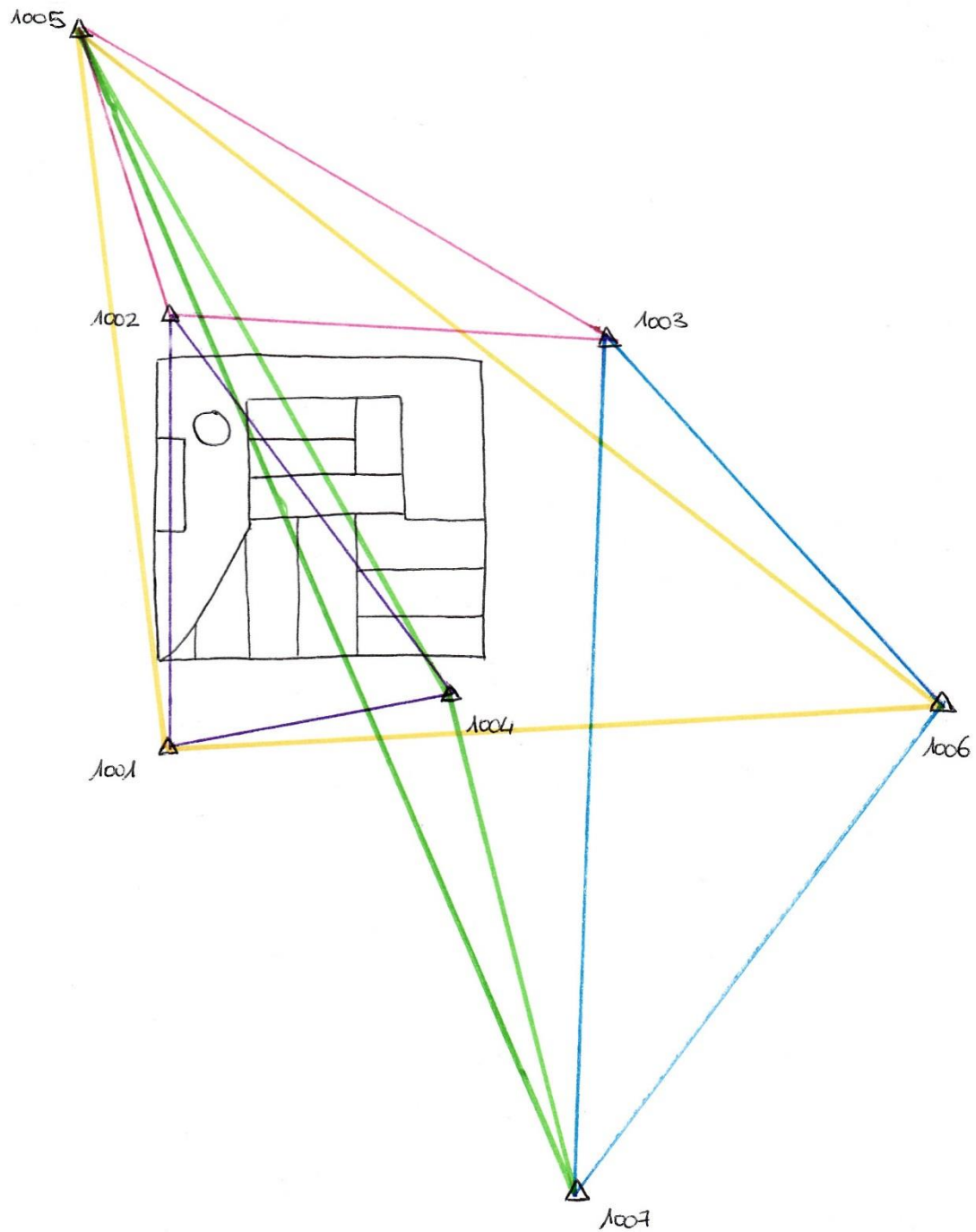
58

TPS 700 Manual de empleo 2.Des

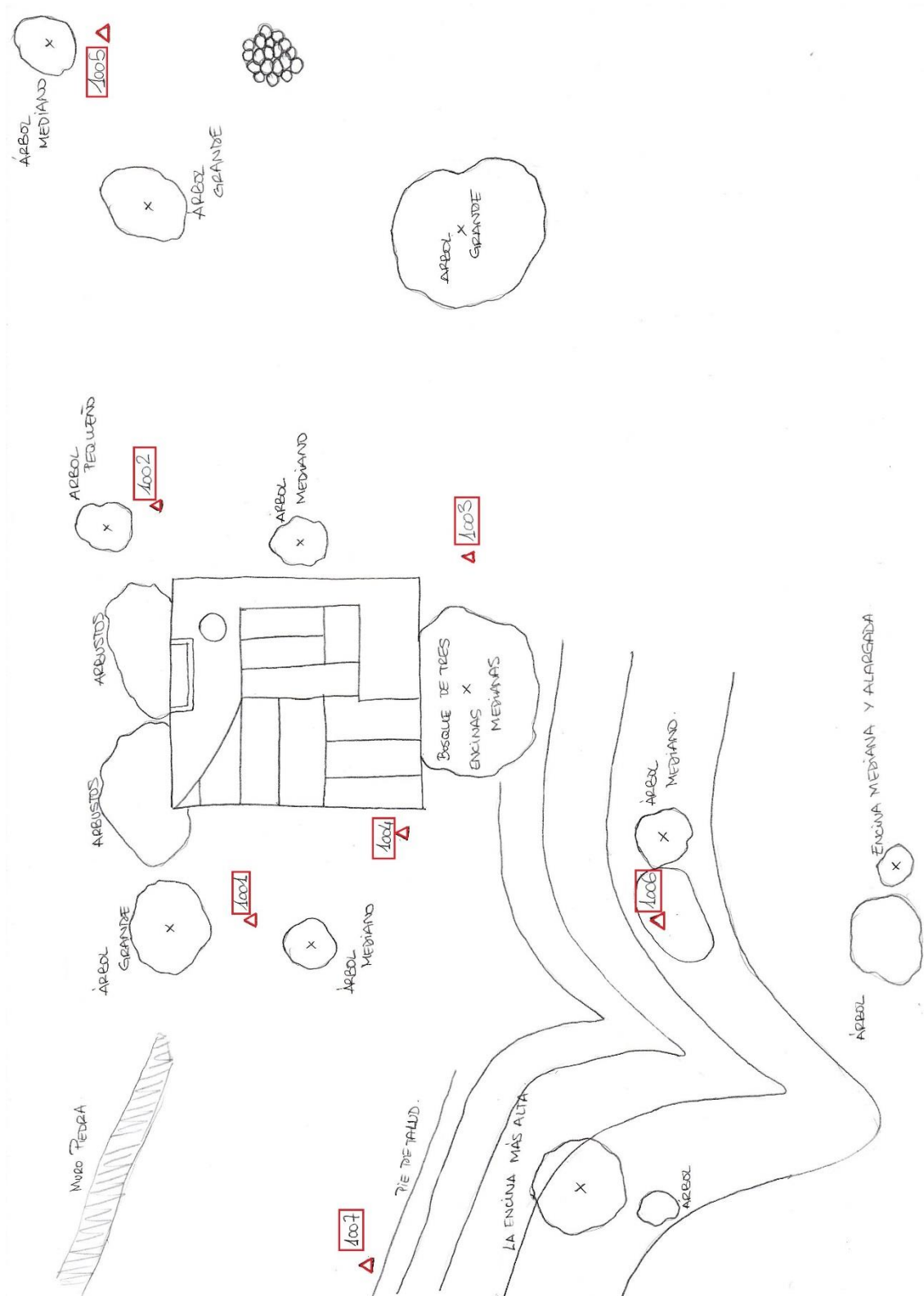
CROQUIS GENERAL DE LAS ESTACIONES LÁSER ESCÁNER Y LAS DIANAS DE PUNTERÍA



CROQUIS GENERAL DE LAS SESIONES DE MEDICIÓN GNSS DE LA FASE DE TOMA DE DATOS



CROQUIS GENERAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA RED GPS





Ajuste de la red GNSS

www.MOVE3.com

(c) 1993-2006 Grontmij

Licensed to Leica Geosystems AG

Created: 04/16/2015 12:26:29

Project Information

Project name:	AGRD_MOLI_YEB1 (3)
Date created:	03/02/2015 21:44:21
Time zone:	0h 00'
Coordinate system name:	ETRS89_ANGUITA
Application software:	LEICA Geo Office 5.0
Processing kernel:	MOVE3 3.4

General Information

Adjustment

Type:	Constrained
Dimension:	3D
Coordinate system:	WGS 1984
Height mode:	Ellipsoidal
Number of iterations:	1
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m ✓ (tolerance is met)

Stations

Number of (partly) known stations:	3
Number of unknown stations:	7
Total:	10

Observations

GPS coordinate differences:	54 (18 baselines)
Known coordinates:	6
Total:	60

Unknowns

Coordinates:	27
Total:	27



Degrees of freedom: 33

Testing

Alfa (multi dimensional): 0.4974
 Alfa 0 (one dimensional): 5.0 %
 Beta: 80.0 %
 Sigma a-priori (GPS): 10.0

Critical value W-test: 1.96

Critical value T-test (2-dimensional): 2.42

Critical value T-test (3-dimensional): 1.89

Critical value F-test: 0.98

F-test: 3.25  (rejected)

Results based on a-posteriori variance factor

Input data

Approximate Coordinates

Station	Latitude	Longitude	Height [m]	
1001	41° 01' 55.42798" N	2° 21' 41.36938" W	1181.2662	
1002	41° 01' 55.37874" N	2° 21' 40.81055" W	1182.1845	
1003	41° 01' 55.13787" N	2° 21' 41.07509" W	1182.2490	
1004	41° 01' 55.26110" N	2° 21' 41.28674" W	1181.2622	
1005	41° 01' 55.45805" N	2° 21' 40.18742" W	1183.3255	
1006	41° 01' 54.81642" N	2° 21' 41.38626" W	1185.1399	
1007	41° 01' 55.19754" N	2° 21' 42.00262" W	1179.4340	
AGRD	41° 50' 56.26999" N	1° 55' 50.02295" W	1010.8458	Known in Position and Height
MOLI	40° 50' 28.45312" N	1° 52' 45.44909" W	1119.4227	Known in Position and Height
YEB1	40° 31' 25.60070" N	3° 05' 24.71087" W	975.3671	Known in Position and Height - not used

Observations

	Station	Target	St. ih	Tg. ih	Reading
DX	1004	1007			-0.7893 m
DY					-16.7060 m
DZ					-2.6777 m
DX	1003	1007			-4.2351 m
DY					-21.5115 m
DZ					-0.4852 m
DX	1002	1004			1.1709 m
DY					-11.1876 m
DZ					-3.3546 m
DX	1002	1003			4.6612 m
DY					-6.3812 m
DZ					-5.5780 m
DX	1006	1007			-12.6068 m
DY					-13.8923 m
DZ					5.1230 m

DX	1006	1003	-8.3717 m
DY			7.6185 m
DZ			5.6088 m
DX	1005	1007	0.5913 m
DY			-42.4717 m
DZ			-8.6195 m
DX	1005	1004	1.3820 m
DY			-25.7654 m
DZ			-5.9417 m
DX	1005	1003	4.8117 m
DY			-20.9546 m
DZ			-8.1625 m
DX	1005	1002	0.1498 m
DY			-14.5736 m
DZ			-2.5850 m
DX	1001	1004	3.3986 m
DY			1.7830 m
DZ			-3.9024 m
DX	1001	1002	2.2268 m
DY			12.9706 m
DZ			-0.5482 m
DX	AGRD	1006	58808.3306 m
DY			-38248.4890 m
DZ			-67922.9554 m
DX	AGRD	1005	58795.1413 m
DY			-38219.9114 m
DZ			-67909.2098 m
DX	AGRD	1001	58793.0695 m
DY			-38247.4678 m
DZ			-67911.2460 m
DX	MOLI	1006	-15319.0413 m
DY			-40077.0567 m
DZ			16040.7163 m
DX	MOLI	1005	-15332.2329 m
DY			-40048.4776 m
DZ			16054.4620 m
DX	MOLI	1001	-15334.3029 m
DY			-40076.0353 m
DZ			16052.4251 m

Standard deviations

	Station	Target	Sd. abs / Cor	Sd. rel / Cor	Sd. tot / Cor
DX	1004	1007	0.0091 m	-	-
DY			-0.3153	0.0028 m	-
DZ			0.5947	-0.0756	0.0046 m
DX	1003	1007	0.0123 m	-	-
DY			-0.4171	0.0057 m	-
DZ			0.8253	-0.4708	0.0160 m
DX	1002	1004	0.0307 m	-	-
DY			0.7478	0.0055 m	-
DZ			0.9432	0.7439	0.0123 m



DX	1002	1003	0.0079 m	-	-
DY			0.3334	0.0034 m	-
DZ			0.7812	0.2507	0.0076 m
DX	1006	1007	0.0059 m	-	-
DY			-0.3849	0.0028 m	-
DZ			0.8051	-0.4364	0.0075 m
DX	1006	1003	0.0080 m	-	-
DY			-0.4014	0.0038 m	-
DZ			0.8166	-0.4554	0.0104 m
DX	1005	1007	0.0109 m	-	-
DY			-0.2999	0.0033 m	-
DZ			0.5879	-0.0631	0.0055 m
DX	1005	1004	0.0086 m	-	-
DY			-0.2999	0.0026 m	-
DZ			0.5879	-0.0631	0.0044 m
DX	1005	1003	0.0075 m	-	-
DY			0.3055	0.0033 m	-
DZ			0.7772	0.2260	0.0074 m
DX	1005	1002	0.0065 m	-	-
DY			0.3108	0.0028 m	-
DZ			0.7791	0.2294	0.0063 m
DX	1001	1004	0.0359 m	-	-
DY			0.7494	0.0064 m	-
DZ			0.9434	0.7454	0.0145 m
DX	1001	1002	0.0339 m	-	-
DY			0.7388	0.0060 m	-
DZ			0.9411	0.7353	0.0136 m
DX	AGRD	1006	0.0129 m	-	-
DY			-0.1450	0.0051 m	-
DZ			0.5381	0.2279	0.0121 m
DX	AGRD	1005	0.0189 m	-	-
DY			-0.1951	0.0074 m	-
DZ			0.5080	0.2008	0.0167 m
DX	AGRD	1001	0.0151 m	-	-
DY			-0.1467	0.0060 m	-
DZ			0.5376	0.2271	0.0141 m
DX	MOLI	1006	0.0072 m	-	-
DY			-0.1472	0.0029 m	-
DZ			0.5366	0.2268	0.0068 m
DX	MOLI	1005	0.0104 m	-	-
DY			-0.1972	0.0041 m	-
DZ			0.5064	0.1997	0.0092 m
DX	MOLI	1001	0.0094 m	-	-
DY			-0.1473	0.0037 m	-
DZ			0.5371	0.2268	0.0087 m

Adjustment Results

Coordinates

Station	Coordinate	Corr	Sd
---------	------------	------	----

1001	Latitude	41° 01' 55.42790" N	-0.0024 m	0.0073 m	
	Longitude	2° 21' 41.36940" W	-0.0004 m	0.0045 m	
	Height	1181.2617 m	-0.0045 m	0.0148 m	
1002	Latitude	41° 01' 55.37871" N	-0.0010 m	0.0070 m	
	Longitude	2° 21' 40.81061" W	-0.0014 m	0.0050 m	
	Height	1182.1734 m	-0.0110 m	0.0153 m	
1003	Latitude	41° 01' 55.13783" N	-0.0013 m	0.0069 m	
	Longitude	2° 21' 41.07516" W	-0.0017 m	0.0048 m	
	Height	1182.2354 m	-0.0137 m	0.0148 m	
1004	Latitude	41° 01' 55.26107" N	-0.0009 m	0.0077 m	
	Longitude	2° 21' 41.28680" W	-0.0015 m	0.0046 m	
	Height	1181.2506 m	-0.0117 m	0.0154 m	
1005	Latitude	41° 01' 55.45801" N	-0.0012 m	0.0065 m	
	Longitude	2° 21' 40.18748" W	-0.0013 m	0.0041 m	
	Height	1183.3148 m	-0.0107 m	0.0128 m	
1006	Latitude	41° 01' 54.81631" N	-0.0035 m	0.0061 m	
	Longitude	2° 21' 41.38630" W	-0.0008 m	0.0037 m	
	Height	1185.1175 m	-0.0223 m	0.0117 m	
1007	Latitude	41° 01' 55.19751" N	-0.0011 m	0.0067 m	
	Longitude	2° 21' 42.00269" W	-0.0016 m	0.0044 m	
	Height	1179.4202 m	-0.0138 m	0.0135 m	
AGRD	Latitude	41° 50' 56.26999" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	1° 55' 50.02295" W	0.0000 m	-	fixed
	Height	1010.8458 m	0.0000 m	-	fixed
MOLI	Latitude	40° 50' 28.45312" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	1° 52' 45.44909" W	0.0000 m	-	fixed
	Height	1119.4227 m	0.0000 m	-	fixed

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	1004	1007	-0.7823 m	-0.0070 m	0.0016 m	0.0116 m
DY			-16.7079 m	0.0019 m	0.0071 m	0.0036 m
DZ			-2.6811 m	0.0033 m	-0.0031 m	0.0065 m
DX	1003	1007	-4.2226 m	-0.0126 m	0.0029 m	0.0097 m
DY			-21.5149 m	0.0034 m	-0.0114 m	0.0042 m
DZ			-0.4590 m	-0.0262 m	-0.0268 m	0.0095 m
DX	1002	1004	1.2268 m	-0.0559 m	-0.0042 m	0.0136 m
DY			-11.1857 m	-0.0019 m	0.0285 m	0.0040 m
DZ			-3.3439 m	-0.0107 m	-0.0491 m	0.0076 m
DX	1002	1003	4.6670 m	-0.0059 m	-0.0028 m	0.0101 m
DY			-6.3787 m	-0.0025 m	-0.0054 m	0.0042 m
DZ			-5.5659 m	-0.0121 m	-0.0123 m	0.0093 m
DX	1006	1007	-12.6022 m	-0.0046 m	0.0013 m	0.0083 m
DY			-13.8938 m	0.0015 m	-0.0038 m	0.0037 m
DZ			5.1321 m	-0.0091 m	-0.0095 m	0.0093 m
DX	1006	1003	-8.3797 m	0.0080 m	-0.0022 m	0.0095 m
DY			7.6211 m	-0.0026 m	0.0080 m	0.0042 m
DZ			5.5911 m	0.0177 m	0.0177 m	0.0107 m
DX	1005	1007	0.5892 m	0.0021 m	-0.0009 m	0.0093 m
DY			-42.4707 m	-0.0010 m	-0.0011 m	0.0035 m
DZ			-8.6198 m	0.0003 m	0.0018 m	0.0066 m



DX	1005	1004	1.3715 m	0.0105 m	-0.0021 m	0.0111 m
DY			-25.7628 m	-0.0026 m	-0.0091 m	0.0033 m
DZ			-5.9388 m	-0.0029 m	0.0061 m	0.0059 m
DX	1005	1003	4.8118 m	-0.0001 m	0.0012 m	0.0087 m
DY			-20.9558 m	0.0012 m	-0.0012 m	0.0037 m
DZ			-8.1608 m	-0.0017 m	-0.0012 m	0.0086 m
DX	1005	1002	0.1447 m	0.0051 m	0.0038 m	0.0089 m
DY			-14.5771 m	0.0036 m	0.0042 m	0.0036 m
DZ			-2.5949 m	0.0099 m	0.0102 m	0.0073 m
DX	1001	1004	3.4473 m	-0.0487 m	-0.0083 m	0.0177 m
DY			1.7893 m	-0.0063 m	0.0225 m	0.0048 m
DZ			-3.8901 m	-0.0123 m	-0.0446 m	0.0092 m
DX	1001	1002	2.2205 m	0.0062 m	-0.0042 m	0.0172 m
DY			12.9750 m	-0.0044 m	-0.0057 m	0.0049 m
DZ			-0.5463 m	-0.0020 m	0.0036 m	0.0094 m
DX	AGRD	1006	58808.3641 m	-0.0335 m	0.0067 m	0.0098 m
DY			-38248.4969 m	0.0078 m	-0.0137 m	0.0038 m
DZ			-67922.9068 m	-0.0486 m	-0.0576 m	0.0088 m
DX	AGRD	1005	58795.1727 m	-0.0314 m	0.0075 m	0.0110 m
DY			-38219.9200 m	0.0086 m	-0.0198 m	0.0041 m
DZ			-67909.1548 m	-0.0550 m	-0.0603 m	0.0093 m
DX	AGRD	1001	58793.0969 m	-0.0274 m	0.0034 m	0.0131 m
DY			-38247.4721 m	0.0043 m	-0.0133 m	0.0045 m
DZ			-67911.2035 m	-0.0425 m	-0.0489 m	0.0100 m
DX	MOLI	1006	-15319.0501 m	0.0088 m	-0.0016 m	0.0098 m
DY			-40077.0549 m	-0.0019 m	0.0062 m	0.0038 m
DZ			16040.7005 m	0.0159 m	0.0171 m	0.0088 m
DX	MOLI	1005	-15332.2415 m	0.0087 m	0.0007 m	0.0110 m
DY			-40048.4780 m	0.0004 m	0.0016 m	0.0041 m
DZ			16054.4524 m	0.0097 m	0.0129 m	0.0093 m
DX	MOLI	1001	-15334.3173 m	0.0144 m	-0.0047 m	0.0131 m
DY			-40076.0301 m	-0.0052 m	0.0067 m	0.0045 m
DZ			16052.4037 m	0.0214 m	0.0250 m	0.0100 m

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	1004	1007	16.9397	0.0080	469.5
DV	1003	1007	21.9302	0.0293	1334.5
DV	1002	1004	11.7391	0.0570	4852.6
DV	1002	1003	9.6669	0.0137	1418.3
DV	1006	1007	19.4472	0.0103	529.6
DV	1006	1003	12.6317	0.0196	1549.2
DV	1005	1007	43.3406	0.0023	53.8
DV	1005	1004	26.4740	0.0112	423.0
DV	1005	1003	22.9978	0.0020	88.0
DV	1005	1002	14.8070	0.0117	788.1
DV	1001	1004	5.4971	0.0506	9206.4
DV	1001	1002	13.1750	0.0079	599.9
DV	AGRD	1006	97646.7739	0.0595	0.6
DV	AGRD	1005	97618.0717	0.0639	0.7
DV	AGRD	1001	97629.0373	0.0508	0.5

DV	MOLI	1006	45805.5422	0.0182	0.4
DV	MOLI	1005	45789.7768	0.0130	0.3
DV	MOLI	1001	45813.8532	0.0263	0.6

External Reliability

Station		Ext Rel [m]		Station	Target
1001	Latitude	-0.0211	DX	MOLI	1001
	Longitude	0.0121	DY	MOLI	1001
	Height	0.0355	DX	MOLI	1001
1002	Latitude	-0.0105	DX	MOLI	1006
	Longitude	0.0073	DY	1005	1002
	Height	0.0187	DX	1005	1002
1003	Latitude	-0.0117	DX	MOLI	1006
	Longitude	0.0082	DY	1006	1003
	Height	0.0175	DX	MOLI	1006
1004	Latitude	-0.0119	DX	1005	1004
	Longitude	0.0066	DY	1005	1004
	Height	-0.0178	DX	1004	1007
1005	Latitude	-0.0103	DX	MOLI	1005
	Longitude	0.0081	DY	MOLI	1005
	Height	0.0147	DX	MOLI	1005
1006	Latitude	0.0151	DZ	MOLI	1006
	Longitude	0.0111	DY	MOLI	1006
	Height	0.0186	DX	MOLI	1006
1007	Latitude	-0.0138	DX	1006	1007
	Longitude	0.0092	DY	1006	1007
	Height	0.0209	DX	1006	1007
AGRD	Latitude	0.0000	DZ	AGRD	1006
	Longitude	0.0000	DY	AGRD	1006
	Height	0.0000	DZ	AGRD	1006
MOLI	Latitude	0.0000	DZ	AGRD	1006
	Longitude	0.0000	DY	AGRD	1006
	Height	0.0000	DX	AGRD	1006

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
1001	0.0073	0.0044	1.7	10°	0.0148
1002	0.0070	0.0049	1.4	6°	0.0153
1003	0.0070	0.0047	1.5	9°	0.0148
1004	0.0077	0.0045	1.7	7°	0.0154
1005	0.0066	0.0040	1.7	12°	0.0128
1006	0.0062	0.0035	1.8	14°	0.0117
1007	0.0068	0.0043	1.6	12°	0.0135
AGRD	0.0000	0.0000	1.0	17°	0.0000
MOLI	0.0000	0.0000	1.0	17°	0.0000

Relative Error Ellipses (2D - 39.4%)

Station	Station	A [m]	B [m]	A/B	Psi	Sd Hgt [m]
1004	1007	0.0061	0.0035	1.7	-77°	0.0119



1003	1007	0.0052	0.0042	1.2	85°	0.0125
1002	1004	0.0061	0.0041	1.5	-82°	0.0143
1002	1003	0.0048	0.0042	1.2	-64°	0.0128
1006	1007	0.0047	0.0036	1.3	41°	0.0116
1006	1003	0.0054	0.0042	1.3	-44°	0.0132
1005	1007	0.0050	0.0035	1.5	-70°	0.0103
1005	1004	0.0057	0.0032	1.8	-73°	0.0112
1005	1003	0.0045	0.0037	1.2	-73°	0.0114
1005	1002	0.0041	0.0037	1.1	69°	0.0108
1001	1004	0.0079	0.0049	1.6	12°	0.0183
1001	1002	0.0076	0.0050	1.5	70°	0.0180
AGRD	1006	0.0062	0.0035	1.8	-7°	0.0117
AGRD	1005	0.0066	0.0040	1.7	-10°	0.0128
AGRD	1001	0.0073	0.0044	1.7	-12°	0.0148
MOLI	1006	0.0062	0.0035	1.8	77°	0.0117
MOLI	1005	0.0066	0.0040	1.7	74°	0.0128
MOLI	1001	0.0073	0.0044	1.7	72°	0.0148



Testing and Estimated Errors

Coordinate Tests

Station		MDB	BNR	W-Test	T-Test
AGRD	Latitude	0.0311 m	999.9	0.00	0.00
	Longitude	0.0184 m	999.9	0.00	
	Height	0.0601 m	999.9	0.00	
MOLI	Latitude	0.0311 m	999.9	0.00	0.00
	Longitude	0.0184 m	999.9	0.00	
	Height	0.0603 m	999.9	0.00	

Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	1004	1007	0.0506 m	51	2.9	-1.06	0.61
DY			0.0200 m	44	3.3	0.22	
DZ			0.0292 m	36	3.4	1.24	
DX	1003	1007	0.0419 m	66	1.8	0.38	0.36
DY			0.0291 m	79	1.5	-0.11	
DZ			0.0502 m	90	1.5	-0.89	
DX	1002	1004	0.0654 m	96	2.3	-2.29	⚠ 1.77
DY			0.0230 m	66	2.2	0.78	
DZ			0.0282 m	45	2.7	1.78	
DX	1002	1003	0.0361 m	43	3.1	0.76	0.67
DY			0.0226 m	52	2.7	-0.43	
DZ			0.0339 m	54	2.8	-1.29	
DX	1006	1007	0.0364 m	19	5.0	0.38	0.32
DY			0.0212 m	39	3.7	0.03	
DZ			0.0376 m	53	3.9	-0.90	
DX	1006	1003	0.0362 m	37	3.3	-0.58	0.54
DY			0.0238 m	55	2.7	0.05	
DZ			0.0413 m	67	2.8	1.17	

DX	1005	1007	0.0488 m	82	1.7	0.06	0.02	
DY			0.0201 m	62	2.2	-0.18		
DZ			0.0298 m	50	2.5	-0.02		
DX	1005	1004	0.0479 m	48	2.9	1.40	0.87	
DY			0.0182 m	49	3.0	-0.32		
DZ			0.0256 m	44	2.9	-1.31		
DX	1005	1003	0.0331 m	53	2.8	0.14	0.05	
DY			0.0211 m	57	2.5	0.28		
DZ			0.0327 m	54	2.7	-0.26		
DX	1005	1002	0.0346 m	24	4.0	-0.88	0.81	
DY			0.0193 m	48	2.9	0.89		
DZ			0.0280 m	68	2.7	1.19		
DX	1001	1004	0.0794 m	90	2.5	-1.20	0.55	
DY			0.0276 m	64	2.4	-0.13		
DZ			0.0337 m	45	2.8	1.03		
DX	1001	1002	0.0781 m	95	2.7	0.88	0.43	
DY			0.0271 m	60	2.5	-0.85		
DZ			0.0339 m	37	3.1	-0.59		
DX	AGRD	1006	0.0570 m	82	1.3	0.20	2.83	
DY			0.0264 m	82	1.3	1.51		
DZ			0.0523 m	83	1.3	-2.32		
DX	AGRD	1005	0.0811 m	89	1.0	0.41	1.69	
DY			0.0361 m	89	1.0	1.17		
DZ			0.0714 m	91	0.9	-1.95		
DX	AGRD	1001	0.0696 m	74	1.6	0.16	1.35	
DY			0.0312 m	81	1.4	0.89		
DZ			0.0609 m	87	1.2	-1.66		
DX	MOLI	1006	0.0434 m	44	3.1	-0.40	1.72	
DY			0.0203 m	45	3.2	-1.10		
DZ			0.0394 m	47	3.0	1.91		
DX	MOLI	1005	0.0523 m	65	2.0	0.23	0.19	
DY			0.0235 m	65	2.1	0.00		
DZ			0.0451 m	70	1.9	0.45		
DX	MOLI	1001	0.0611 m	33	3.6	-0.37	1.80	
DY			0.0247 m	51	2.8	-1.60		
DZ			0.0447 m	67	2.3	1.81		



Redundancy:

W-Test:

T-Test (3-dimensional):

Estimated Errors (Observations)

Estimated Errors For Observations With Rejected W-Tests (max 10)

	Station	Target	W-Test	Fact	Est err
DZ	AGRD	1006	-2.32	1.2	-0.0434 m
DX	1002	1004	-2.29	1.2	-0.0535 m

Estimated Errors For Observations With Rejected Antenna Hgt W-Tests (max 10)

Station	Target	W-Test	Fact	MDB [m]	Est ant err [m]
AGRD	1006	-2.43	1.2	0.0856	-0.0744

Estimated Errors For Observations With Rejected T-Tests (max 10)

	Station	Target	T-Test	Fact	Est err
DX	AGRD	1006	2.83	1.2	-0.0408 m
DY					0.0099 m
DZ					-0.0589 m

Radiación de puntos	
Proyecto : Anguita	Fecha de cálculo : 28/11/2014 18:40
Sistema de referencia : ETRS89_Anguita	
Proyección : UTM - 30N	Elipsoide : GRS 1980

Ficheros utilizados	
Puntos	Visuales
Vértices.pts	Dianas (limpio).obs
	Dianas Fabio (limpio).obs

Radiación desde la estación 1001					
	X	553673.667		Desorientación	326.1475
	Y	4542512.742		Nombre	
	Z	1127.903		Coef. anamorfosis	0.9996354924

Visuales utilizadas							
Visado	Horizontal	Vertical	Dist.Geom.	Mira	Inst	Acimut	Dist.Red.
201	199.2921	112.7458	6.136	0.000	1.544	125.4396	6.010
202	218.4890	113.3460	6.782	0.000	1.544	144.6365	6.630
203	194.1962	106.2310	9.422	0.000	1.544	120.3437	9.372
204	208.3900	107.2088	9.576	0.000	1.544	134.5375	9.510
205	222.4352	105.9308	9.952	0.000	1.544	148.5827	9.904
206	242.5482	110.2420	7.478	0.000	1.544	168.6957	7.377
208	172.2540	112.2278	5.390	0.000	1.544	98.4015	5.288
209	184.0978	105.3352	9.480	0.000	1.544	110.2453	9.442
210	183.7598	108.5220	7.295	0.000	1.544	109.9073	7.226
1002	180.7628	96.8860	13.148	1.300	1.544	106.9103	13.125

Coordenadas calculadas				
	Número	X	Y	Z
	201	553679.204	4542510.404	1128.227
	202	553678.733	4542508.465	1128.035
	203	553682.564	4542509.798	1128.526
	204	553681.811	4542507.833	1128.365
	205	553680.824	4542505.897	1128.521
	206	553677.150	4542506.239	1128.249
	208	553678.953	4542512.875	1128.418
	209	553682.987	4542511.229	1128.653
	210	553680.805	4542511.622	1128.473
	1002	553686.715	4542511.320	1128.790

Radiación desde la estación 1003					
	X	553680.603		Desorientación	228.6926
	Y	4542503.848		Nombre	
	Z	1128.877		Coef. anamorfosis	0.9996355016

Visuales utilizadas							
Visado	Horizontal	Vertical	Dist.Geom.	Mira	Inst	Acimut	Dist.Red.
201	157.9225	119.1820	6.994	0.000	1.450	386.6151	6.675



202	146.8010	127.2445	5.452	0.000	1.450	375.4936	4.958
207	130.6720	119.7940	7.855	0.000	1.450	359.3646	7.474
208	159.7950	112.9430	9.343	0.000	1.450	388.4876	9.146
209	191.2110	113.4060	7.901	0.000	1.450	19.9036	7.722
210	172.9630	114.7700	7.964	0.000	1.450	1.6556	7.746
1002	214.9850	101.4865	9.670	1.300	1.450	43.6776	9.662
1005	242.5625	97.4808	22.990	1.300	1.450	71.2551	22.960

Coordenadas calculadas				
	Número	X	Y	Z
	201	553679.210	4542510.376	1128.251
	202	553678.741	4542508.443	1128.064
	207	553676.150	4542509.850	1127.923
	208	553678.958	4542512.844	1128.440
	209	553682.978	4542511.196	1128.675
	210	553680.804	4542511.592	1128.495
	1002	553686.724	4542511.324	1128.801
	1005	553701.262	4542513.866	1129.936

Radiación desde la estación 1004				
	X	553675.633	Desorientación	385.3424
	Y	4542507.612	Nombre	
	Z	1127.892	Coef. anamorfosis	0.9996354950

Visuales utilizadas							
Visado	Horizontal	Vertical	Dist.Geom.	Mira	Inst	Acimut	Dist.Red.
201	72.3215	116.0295	4.659	0.000	1.517	57.6639	4.510
202	97.2965	125.4312	3.462	0.000	1.517	82.6389	3.188
203	95.1738	107.5765	7.294	0.000	1.517	80.5162	7.238
204	112.3212	110.5080	6.236	0.000	1.517	97.6636	6.148
205	134.8808	110.1010	5.496	0.000	1.517	120.2232	5.424
206	161.1895	132.6828	2.300	0.000	1.517	146.5319	2.002
207	28.5102	136.3378	2.740	0.000	1.517	13.8526	2.304
208	50.4818	109.8915	6.282	0.000	1.517	35.8242	6.203
209	85.5550	105.7335	8.207	0.000	1.517	70.8974	8.169
210	72.6472	108.8888	6.590	0.000	1.517	57.9896	6.522
1002	94.1322	96.1972	11.728	1.300	1.517	79.4746	11.701

Coordenadas calculadas				
	Número	X	Y	Z
	201	553679.182	4542510.395	1128.248
	202	553678.703	4542508.471	1128.062
	203	553682.535	4542509.793	1128.543
	204	553681.777	4542507.838	1128.384
	205	553680.786	4542505.918	1128.540
	206	553677.124	4542506.275	1128.279
	207	553676.131	4542509.862	1127.928
	208	553678.943	4542512.858	1128.437
	209	553682.964	4542511.218	1128.671

Anexos

	210	553680.786	4542511.610	1128.492	
	1002	553686.731	4542511.319	1128.809	



Cálculo de triangulación				
Proyecto : Anguita			Fecha de cálculo : 28/11/2014 19:41	
Sistema de referencia : ETRS89_Anguita				
Proyección : UTM - 30N			Elipsoide : GRS 1980	
Ficheros utilizados				
Puntos			Visuales	
Vértices.pts			Dianas (limpio).obs	
			Dianas Fabio (limpio).obs	
Coordenadas iniciales				
Número	X	Y	Z	Tipo
201	553679.198	4542510.406	0.000	Incógnita
202	553678.722	4542508.475	0.000	Incógnita
203	553682.556	4542509.799	0.000	Incógnita
204	553681.799	4542507.838	0.000	Incógnita
205	553680.807	4542505.911	0.000	Incógnita
206	553677.134	4542506.266	0.000	Incógnita
207	553676.132	4542509.866	0.000	Incógnita
208	553678.949	4542512.872	0.000	Incógnita
209	553682.984	4542511.228	0.000	Incógnita
210	553680.800	4542511.622	0.000	Incógnita
1001	553673.667	4542512.742	1127.903	Fijo
1003	553680.603	4542503.848	1128.877	Fijo
1004	553675.633	4542507.612	1127.892	Fijo
Visuales utilizadas				
	Estación	Visado	Horizontal	
	1001	201	199.2921	
	1001	202	218.4890	
	1001	203	194.1962	
	1001	204	208.3900	
	1001	205	222.4352	
	1001	206	242.5482	
	1001	208	172.2540	
	1001	209	184.0978	
	1001	210	183.7598	
	1001	1003	231.6800	
	1003	201	157.9225	
	1003	202	146.8010	
	1003	207	130.6720	
	1003	208	159.7950	
	1003	209	191.2110	
	1003	210	172.9630	
	1004	201	72.3215	
	1004	202	97.2965	
	1004	203	95.1738	
	1004	204	112.3212	
	1004	205	134.8808	
	1004	206	161.1895	
	1004	207	28.5102	

	1004	208	50.4818	
	1004	209	85.5550	
	1004	210	72.6472	
	1004	1003	155.9102	
Intersecciones simples para el punto : 201				
Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1003	553679.204	4542510.404	0.015
1001	1004	553679.197	4542510.407	0.014
1003	1004	553679.202	4542510.411	0.013
Cálculo MM.CC. para el punto : 201				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	?	199.292	0.129
1001	1003	?	231.680	0.000
1003	201	?	157.923	-0.049
1004	201	?	72.322	-0.094
1004	1003	?	155.910	-0.000
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 201				
	Coordenadas finales	553679.198	4542510.406	
	Desviación típica : ?	Px : ?	Py : ?	
Intersecciones simples para el punto : 202				
Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1003	553678.732	4542508.466	0.030
1001	1004	553678.721	4542508.475	0.015
1003	1004	553678.727	4542508.477	0.011
Cálculo MM.CC. para el punto : 202				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.302	199.292	25.576
1001	202	1.730	218.489	-92.449
1001	1003	0.890	231.680	25.447
1003	201	1.732	157.923	56.588
1003	202	1.730	146.801	-101.135
1004	201	0.153	72.322	-15.518
1004	202	1.729	97.296	88.048
1004	1003	0.283	155.910	-15.424
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 202				
	Coordenadas finales	553678.722	4542508.475	
	Desviación típica : 0.125	Px : 0.001	Py : 0.001	
Intersecciones simples para el punto : 208				
Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1003	553678.953	4542512.875	0.011
1001	1004	553678.953	4542512.875	0.015
1003	1004	553678.953	4542512.874	0.020
Cálculo MM.CC. para el punto : 208				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.014	199.292	-2.648
1001	202	0.694	218.489	-120.673



1001	208	2.331	172.254	203.424
1001	1003	0.037	231.680	-2.777
1003	201	0.853	157.923	-117.532
1003	202	1.250	146.801	-275.255
1003	208	2.327	159.795	147.345
1004	201	0.506	72.322	124.687
1004	202	0.608	97.296	228.253
1004	208	2.328	50.482	-253.338
1004	1003	0.826	155.910	124.780

: Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29

Resumen para el punto : 208

Coordenadas finales	553678.949	4542512.872
Desviación típica : 0.285	Px : 0.002	Py : 0.002

Intersecciones simples para el punto : 209

Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1003	553682.989	4542511.229	0.011
1001	1004	553682.987	4542511.229	0.024
1003	1004	553682.989	4542511.230	0.018

Cálculo MM.CC. para el punto : 209

Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.074	199.292	-12.159
1001	202	0.884	218.489	-130.184
1001	208	1.017	172.254	193.913
1001	209	0.506	184.098	25.209
1001	1003	0.178	231.680	-12.288
1003	201	0.935	157.923	-127.011
1003	202	1.448	146.801	-284.734
1003	208	1.679	159.795	137.866
1003	209	0.502	191.211	24.253
1004	201	0.684	72.322	148.764
1004	202	0.789	97.296	252.330
1004	208	1.565	50.482	-229.262
1004	209	0.504	85.555	-39.547
1004	1003	1.020	155.910	148.857

: Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29

Resumen para el punto : 209

Coordenadas finales	553682.984	4542511.228
Desviación típica : 0.236	Px : 0.002	Py : 0.002

Intersecciones simples para el punto : 210

Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1003	553680.805	4542511.622	0.011
1001	1004	553680.802	4542511.623	0.018
1003	1004	553680.805	4542511.625	0.017

Cálculo MM.CC. para el punto : 210

Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.106	199.292	-15.533
1001	202	1.015	218.489	-133.557
1001	208	1.130	172.254	190.540

1001	209	0.255	184.098	21.836
1001	210	0.332	183.760	20.661
1001	1003	0.235	231.680	-15.661
1003	201	1.059	157.923	-132.060
1003	202	1.650	146.801	-289.783
1003	208	1.626	159.795	132.817
1003	209	0.185	191.211	19.204
1003	210	0.329	172.963	17.951
1004	201	0.804	72.322	155.842
1004	202	0.922	97.296	259.409
1004	208	1.656	50.482	-222.183
1004	209	0.350	85.555	-32.468
1004	210	0.331	72.647	-29.042
1004	1003	1.166	155.910	155.936
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 210				
Coordenadas finales		553680.800	4542511.622	
Desviación típica : 0.206		Px : 0.001	Py : 0.001	
Intersecciones simples para el punto : 203				
Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1004	553682.558	4542509.800	0.023
Cálculo MM.CC. para el punto : 203				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.114	199.292	-15.544
1001	202	1.088	218.489	-133.569
1001	203	0.011	194.196	0.021
1001	208	1.215	172.254	190.528
1001	209	0.270	184.098	21.824
1001	210	0.186	183.760	20.650
1001	1003	0.246	231.680	-15.673
1003	201	1.120	157.923	-132.042
1003	202	1.763	146.801	-289.766
1003	208	1.674	159.795	132.835
1003	209	0.194	191.211	19.222
1003	210	0.182	172.963	17.969
1004	201	0.862	72.322	155.850
1004	202	0.993	97.296	259.416
1004	203	?	95.174	0.003
1004	208	1.763	50.482	-222.176
1004	209	0.367	85.555	-32.461
1004	210	0.245	72.647	-29.035
1004	1003	1.242	155.910	155.943
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 203				
Coordenadas finales		553682.556	4542509.799	
Desviación típica : 0.190		Px : 0.003	Py : 0.001	
Intersecciones simples para el punto : 204				
Punto1	Punto2	X	Y	Error



1001	1004	553681.801	4542507.838	0.025
Cálculo MM.CC. para el punto : 204				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.120	199.292	-15.548
1001	202	1.149	218.489	-133.573
1001	203	0.000	194.196	0.017
1001	204	0.012	208.390	0.024
1001	208	1.289	172.254	190.524
1001	209	0.281	184.098	21.820
1001	210	0.195	183.760	20.646
1001	1003	0.251	231.680	-15.677
1003	201	1.198	157.923	-132.042
1003	202	1.885	146.801	-289.766
1003	208	1.790	159.795	132.835
1003	209	0.208	191.211	19.222
1003	210	0.195	172.963	17.969
1004	201	0.912	72.322	155.849
1004	202	1.056	97.296	259.416
1004	203	0.000	95.174	0.002
1004	204	?	112.321	0.004
1004	208	1.847	50.482	-222.176
1004	209	0.377	85.555	-32.461
1004	210	0.256	72.647	-29.035
1004	1003	1.300	155.910	155.943
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 204				
Coordenadas finales		553681.799	4542507.838	
Desviación típica : 0.178		Px : 0.003	Py : 0.001	
Intersecciones simples para el punto : 205				
Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1004	553680.811	4542505.910	0.032
Cálculo MM.CC. para el punto : 205				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.127	199.292	-15.552
1001	202	1.208	218.489	-133.577
1001	203	0.000	194.196	0.013
1001	204	0.000	208.390	0.020
1001	205	0.016	222.435	0.033
1001	208	1.360	172.254	190.520
1001	209	0.292	184.098	21.817
1001	210	0.205	183.760	20.642
1001	1003	0.259	231.680	-15.681
1003	201	1.270	157.923	-132.042
1003	202	1.999	146.801	-289.766
1003	208	1.899	159.795	132.835
1003	209	0.220	191.211	19.222
1003	210	0.207	172.963	17.969
1004	201	0.963	72.322	155.849

1004	202	1.118	97.296	259.415
1004	203	0.000	95.174	0.002
1004	204	0.000	112.321	0.003
1004	205	0.006	134.881	0.005
1004	208	1.939	50.482	-222.177
1004	209	0.392	85.555	-32.462
1004	210	0.268	72.647	-29.036
1004	1003	1.365	155.910	155.942

: Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29

Resumen para el punto : 205

Coordenadas finales	553680.807	4542505.911
Desviación típica : 0.168	Px : 0.004	Py : 0.002

Intersecciones simples para el punto : 206

Punto1	Punto2	X	Y	Error
1001	1004	553677.137	4542506.264	0.041

Cálculo MM.CC. para el punto : 206

Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.133	199.292	-15.557
1001	202	1.265	218.489	-133.582
1001	203	0.000	194.196	0.008
1001	204	0.000	208.390	0.015
1001	205	0.000	222.435	0.028
1001	206	0.015	242.548	0.045
1001	208	1.427	172.254	190.515
1001	209	0.303	184.098	21.812
1001	210	0.214	183.760	20.637
1001	1003	0.267	231.680	-15.686
1003	201	1.339	157.923	-132.042
1003	202	2.108	146.801	-289.766
1003	208	2.001	159.795	132.835
1003	209	0.232	191.211	19.222
1003	210	0.218	172.963	17.969
1004	201	1.012	72.322	155.848
1004	202	1.176	97.296	259.415
1004	203	0.000	95.174	0.001
1004	204	0.000	112.321	0.003
1004	205	0.000	134.881	0.005
1004	206	0.005	161.190	0.014
1004	208	2.031	50.482	-222.177
1004	209	0.408	85.555	-32.462
1004	210	0.281	72.647	-29.036
1004	1003	1.430	155.910	155.942

: Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29

Resumen para el punto : 206

Coordenadas finales	553677.134	4542506.266
Desviación típica : 0.159	Px : 0.003	Py : 0.004

Intersecciones simples para el punto : 207

Punto1	Punto2	X	Y	Error
--------	--------	---	---	-------



1003	1004	553676.133	4542509.873	0.017
Cálculo MM.CC. para el punto : 207				
Estación	Visado	R.Tipific	Lectura	R.Sin pond
1001	201	0.139	199.292	-15.560
1001	202	1.323	218.489	-133.585
1001	203	0.000	194.196	0.005
1001	204	0.000	208.390	0.012
1001	205	0.000	222.435	0.025
1001	206	0.000	242.548	0.041
1001	208	1.494	172.254	190.512
1001	209	0.316	184.098	21.808
1001	210	0.224	183.760	20.633
1001	1003	0.278	231.680	-15.689
1003	201	1.404	157.923	-132.042
1003	202	2.210	146.801	-289.766
1003	207	0.075	130.672	-0.237
1003	208	2.099	159.795	132.835
1003	209	0.244	191.211	19.222
1003	210	0.229	172.963	17.969
1004	201	1.061	72.322	155.848
1004	202	1.233	97.296	259.415
1004	203	0.000	95.174	0.001
1004	204	0.000	112.321	0.003
1004	205	0.000	134.881	0.005
1004	206	0.000	161.190	0.014
1004	207	?	28.510	0.023
1004	208	2.128	50.482	-222.177
1004	209	0.427	85.555	-32.462
1004	210	0.294	72.647	-29.036
1004	1003	1.498	155.910	155.942
# : Marca para aquellas observaciones que superan el límite crítico de 3.29				
Resumen para el punto : 207				
Coordenadas finales		553676.132	4542509.866	
Desviación típica : 0.152		Px : 0.001	Py : 0.002	
Fichero de salida :		Interseccion directa dianas.pts		Incluido

Compensación de altimetría								
Proyecto : Anguita					Fecha de cálculo : 28/11/2014 19:44			
Sistema de referencia : ETRS89_Anguita								
Proyección : UTM - 30N					Elipsoide : GRS 1980			
Ficheros utilizados								
Puntos					Visuales			
Vértices.pts					Dianas (limpio).obs			
Interseccion directa dianas.pts					Dianas Fabio (limpio).obs			
Coordenadas iniciales								
Número	X			Y		Z		Tipo
201	553679.198			4542510.406		0.000		Incógnita
202	553678.722			4542508.475		0.000		Incógnita
203	553682.556			4542509.799		0.000		Incógnita
204	553681.799			4542507.838		0.000		Incógnita
205	553680.807			4542505.911		0.000		Incógnita
206	553677.134			4542506.266		0.000		Incógnita
207	553676.132			4542509.866		0.000		Incógnita
208	553678.949			4542512.872		0.000		Incógnita
209	553682.984			4542511.228		0.000		Incógnita
210	553680.800			4542511.622		0.000		Incógnita
1001	553673.667			4542512.742		1127.903		Fijo
1003	553680.603			4542503.848		1128.877		Fijo
1004	553675.633			4542507.612		1127.892		Fijo
Visuales utilizadas								
Estación	Visado	Vertical	Dist.Geom.	Desnivel	Peso	Residuo	Mira	Inst
1001	201	112.7458	6.136	0.324	1.000	-0.016	0.000	1.544
1001	202	113.3460	6.782	0.133	0.908	-0.023	0.000	1.544
1001	203	106.2310	9.422	0.623	0.641	-0.010	0.000	1.544
1001	204	107.2088	9.576	0.462	0.632	-0.014	0.000	1.544
1001	205	105.9308	9.952	0.618	0.608	-0.015	0.000	1.544
1001	206	110.2420	7.478	0.346	0.817	-0.028	0.000	1.544
1001	208	112.2278	5.390	0.515	1.136	-0.010	0.000	1.544
1001	209	105.3352	9.480	0.750	0.636	-0.014	0.000	1.544
1001	210	108.5220	7.295	0.570	0.831	-0.013	0.000	1.544
1003	201	119.1820	6.994	-0.626	0.895	0.008	0.000	1.450
1003	202	127.2445	5.452	-0.813	1.202	0.005	0.000	1.450
1003	207	119.7940	7.855	-0.953	0.801	-0.004	0.000	1.450
1003	208	112.9430	9.343	-0.436	0.654	0.012	0.000	1.450
1003	209	113.4060	7.901	-0.202	0.774	0.007	0.000	1.450
1003	210	114.7700	7.964	-0.381	0.772	0.009	0.000	1.450
1004	201	116.0295	4.659	0.356	1.326	0.005	0.000	1.517
1004	202	125.4312	3.462	0.171	1.872	0.003	0.000	1.517
1004	203	107.5765	7.294	0.651	0.827	0.006	0.000	1.517
1004	204	110.5080	6.236	0.492	0.973	0.006	0.000	1.517
1004	205	110.1010	5.496	0.649	1.102	0.005	0.000	1.517
1004	206	132.6828	2.300	0.387	2.978	0.002	0.000	1.517
1004	207	136.3378	2.740	0.037	2.601	0.000	0.000	1.517
1004	208	109.8915	6.282	0.545	0.966	0.009	0.000	1.517



1004	209	105.7335	8.207	0.779	0.733	0.003	0.000	1.517
1004	210	108.8888	6.590	0.600	0.918	0.005	0.000	1.517

Resumen								
			Número de incógnitas			10		
			Número de visuales			25		
			Varianza a posteriori			0.015 m		

Coordenadas finales					
Número	X	Y	Z	Desor	Nombre
201	553679.198	4542510.406	1128.243	0.0000	
202	553678.722	4542508.475	1128.059	0.0000	
203	553682.556	4542509.799	1128.536	0.0000	
204	553681.799	4542507.838	1128.378	0.0000	
205	553680.807	4542505.911	1128.536	0.0000	
206	553677.134	4542506.266	1128.277	0.0000	
207	553676.132	4542509.866	1127.928	0.0000	
208	553678.949	4542512.872	1128.428	0.0000	
209	553682.984	4542511.228	1128.668	0.0000	
210	553680.800	4542511.622	1128.487	0.0000	

Fichero de salida :	Altimetria.pts	Incluido
---------------------	----------------	----------

Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1001**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 41.36940"	-2° 21' 41.36940"
Latitud.....:	41° 01' 55.42790"	41° 01' 55.42790"
Altura elipsoidal.....:	1181.262 m	1181.262 m

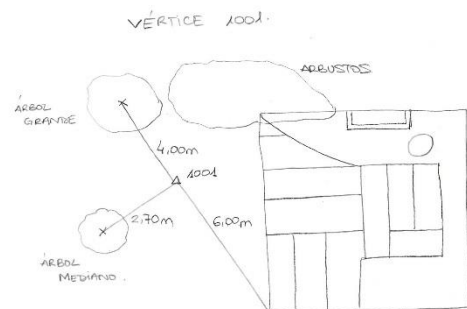
COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553782.637 m	553673.667 m
Y.....:	4542721.217 m	4542512.742 m
Altitud Ortométrica....:	1127.903 m	1127.903 m



SITUACIÓN

Situado cerca de la esquina NW del yacimiento, junto a un grupo de encinas.

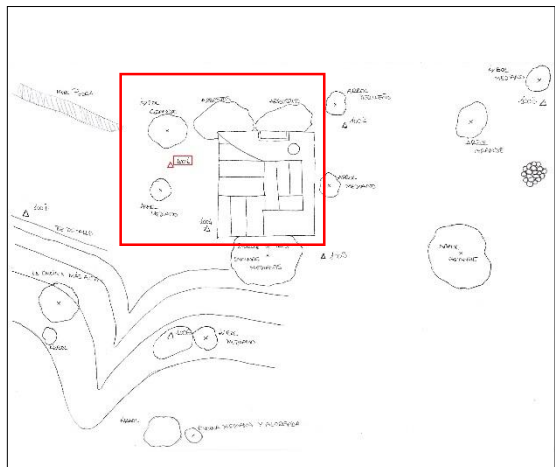


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1002**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 40.81061"	-2° 21' 40.81061"
Latitud.....:	41° 01' 55.37871"	41° 01' 55.37871"
Altura elipsoidal.....:	1182.173 m	1182.173 m

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553795.696 m	553686.7257 m
Y.....:	4542719.796 m	4542511.321 m
Altitud Ortométrica....:	1128.815 m	1128.815 m

SITUACIÓN

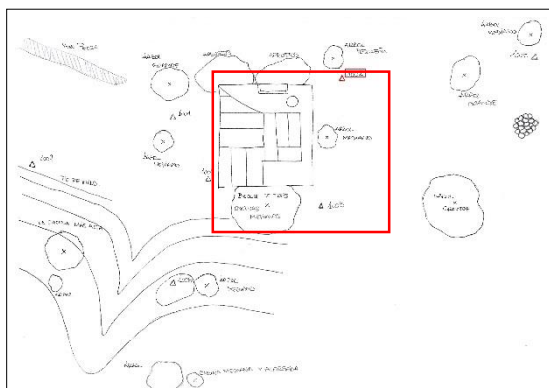
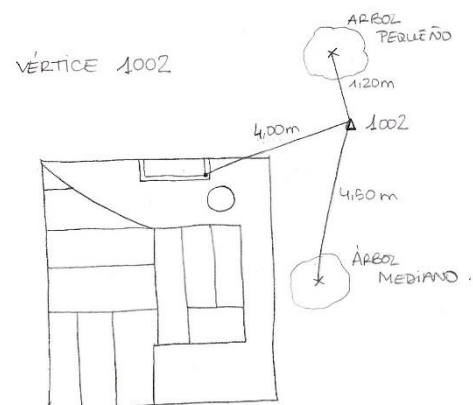
Situado cerca de la esquina NE del yacimiento, junto a un matorral cerca de dicha esquina.

ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1003**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

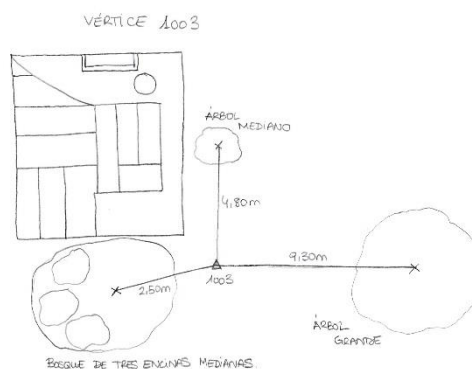
Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 41.07516"	-2° 21' 41.07518"
Latitud.....:	41° 01' 55.13783"	41° 01' 55.13787"
Altura elipsoidal.....:	1182.235 m	1182.235 m

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553789.573 m	553680.603 m
Y.....:	4542712.322 m	4542503.848 m
Altitud Ortométrica....:	1128.876 m	1128.876 m

SITUACIÓN

Situado cerca de la esquina SE del yacimiento, sobre una Ladera de tierra.

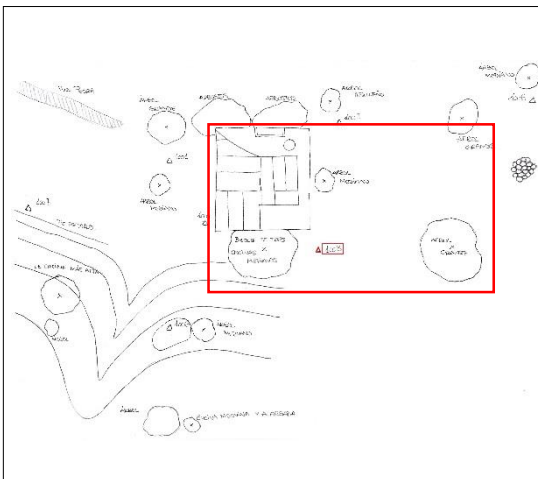


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1004**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 41.28680"	-2° 21' 41.28680"
Latitud.....:	41° 01' 55.26107"	41° 01' 55.26107"
Altura elipsoidal.....:	1181.251 m	1181.251 m

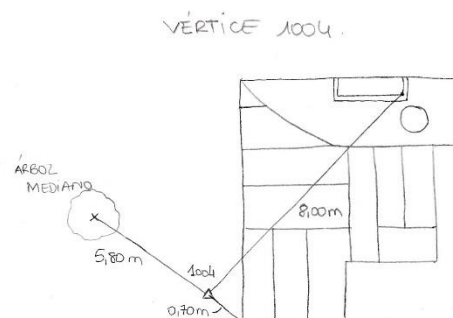
COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553784.604 m	553675.633 m
Y.....:	4542716.086 m	4542507.612 m
Altitud Ortométrica....:	1127.892 m	1127.892 m



SITUACIÓN

Situado cerca de la esquina SW del yacimiento.

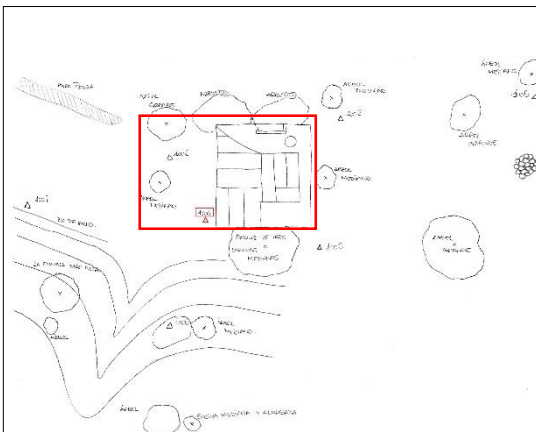


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1005**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

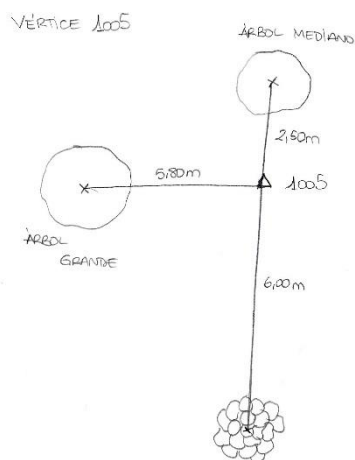
Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 40.18748"	-2° 21' 40.18748"
Latitud.....:	41° 01' 55.45801"	41° 01' 55.45801"
Altura elipsoidal.....:	1183.315 m	1183.315 m

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553810.229 m	553701.258 m
Y.....:	4542722.347 m	4542513.873 m
Altitud Ortométrica....:	1129.956 m	1129.966 m

SITUACIÓN

Situado al NE del yacimiento, a unos 15m, casi en paralelo a un majano de piedras del cual el vértice dista unos 6m.

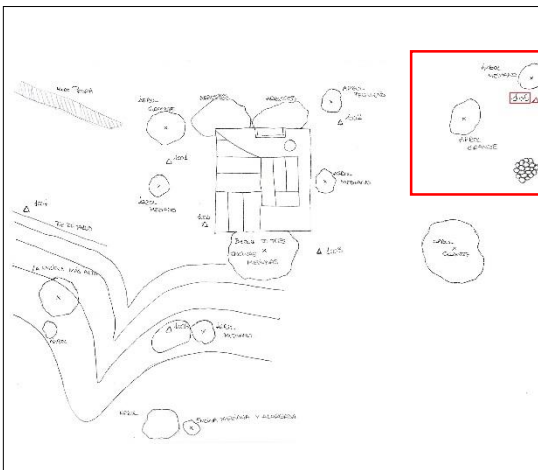


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

Número.....: **1006**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

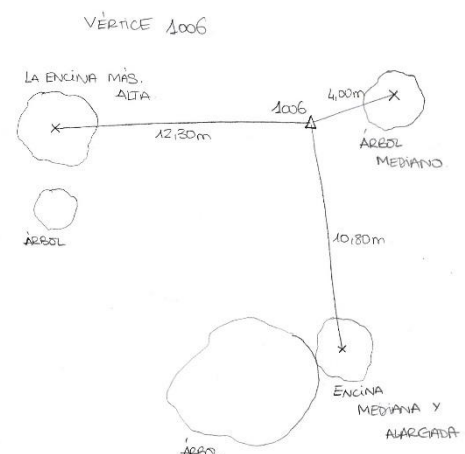
Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 41.38630"	-2° 21' 41.38630"
Latitud.....:	41° 01' 54.81631"	41° 01' 54.81631"
Altura elipsoidal.....:	1185.117 m	1185.117 m

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553782.381 m	553673.410 m
Y.....:	4542702.354 m	4542493.880 m
Altitud Ortométrica....:	1131.759 m	1131.759 m

SITUACIÓN

Situado al SW del yacimiento, subiendo por la ladera hasta un alto rodeado de arbustos desde el cual se ven los vértices 1001 y 1004.

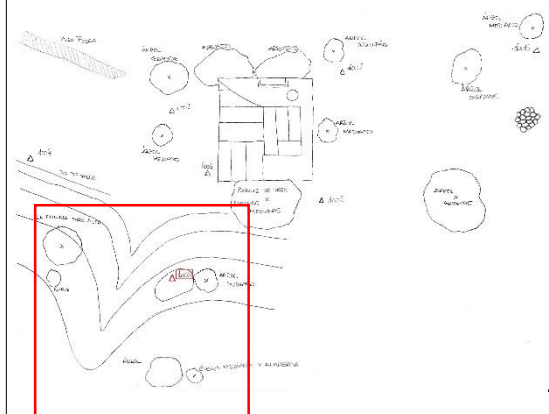


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.



Reseña Vértice – Red Principal

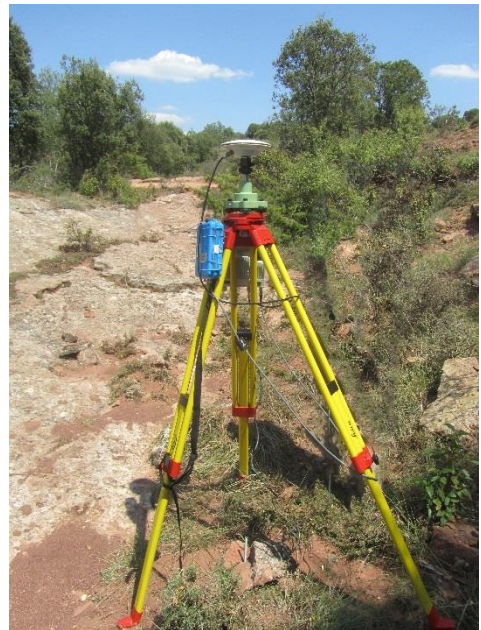
Número.....: **1007**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Estaca de hierro**
 Fecha de colocación: **26 Julio 2014**

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
Longitud.....:	-2° 21' 42.00269"	-2° 21' 42.00269"
Latitud.....:	41° 01' 55.19751"	41° 01' 55.19751"
Altura elipsoidal.....:	1179.420 m	1179.420 m

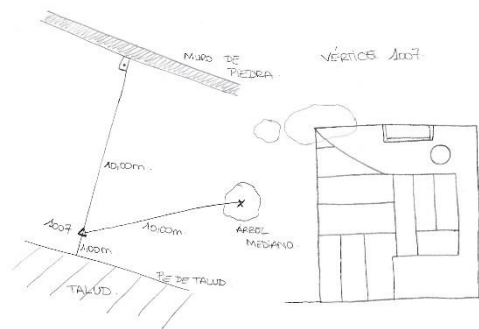
COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia:	ED50	ETRS89
X.....:	553767.902 m	553658.931 m
Y.....:	4542714.004 m	4542505.530 m
Altitud Ortométrica....:	1126.061 m	1126.061 m



SITUACIÓN

Situado a unos 12 o 13 m del lado W del yacimiento, a 1m del pie de talud y a 10m del muro de piedra.

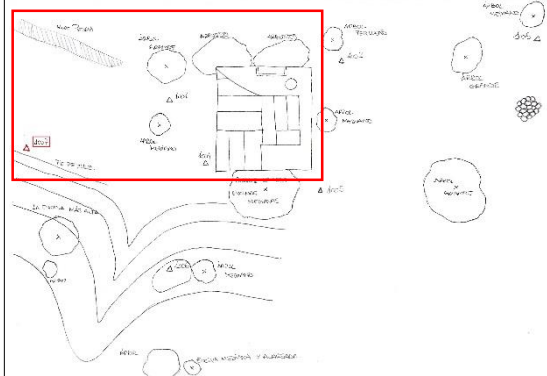


ACCESO

Ver anexos página 284

OBSERVACIONES

Vértice observado con tecnología GPS
 Horizonte despejado en el momento de toma de datos.





ACCESO AL YACIMIENTO

Se toma la A2 y se coge la salida 135 en dirección “Alcolea del Pinar” y “Molina de Aragón”. Al llegar a una intersección pasado el pueblo “Aguilar de Anguita” se gira a la derecha por la carretera GU-936 en dirección “Anguita”. A la llegada al pueblo (hay una ermita en la entrada), se gira a la izquierda por la C/ de la Calzada. Se continúa derecho hasta la C/ de la Hoz, que circula en paralelo por la izquierda del río Tajuña. Cuando terminan las casas del pueblo, se toma a mano derecha un camino de tierra que continúa hasta una bifurcación. Al llegar a ella se gira a la derecha y se cruza el río, avanzando unos metros hasta un campo de siembra que se encuentra de frente. Se gira a la derecha hasta que acaba dicho campo y se aparca. A pie, hay que bordear el campo de siembra por el lado que no tiene camino de tierra, y seguir un muro de piedra de medio metro y medio derruido por el lado de fuera. Al llegar a unas placas de suelo rocosas, se seguirán hasta llegar al yacimiento (un total de dos placas de suelo).

Reseña Diana de Puntería

Número.....: **201**
 Municipio.....: Anguita
 Provincia.....: Guadalajara
 Tipo señalización.....: Diana de 5.3x5.3 cm impresa sobre papel
 Fecha de colocación: 29 Julio 2014

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: ETRS89
 X.....: 553679.198 m
 Y.....: 4542510.406 m
 Altitud Ortométrica...: 1128.243 m

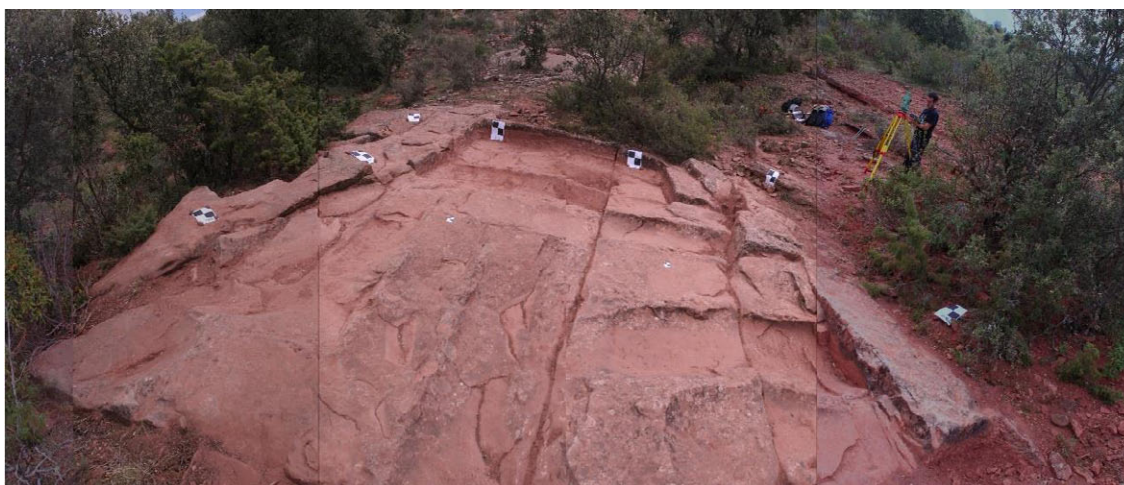
SITUACIÓN

Situado en la zona central del yacimiento, a la derecha de la segunda cuna horizontal empezando a contar desde el Sur.



OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
 Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **202**
Municipio.....: **Anguita**
Provincia.....: **Guadalajara**
Tipo señalización.....: **Diana de 5.3x5.3 cm impresa sobre papel**
Fecha de colocación: **29 Julio 2014**

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: **ETRS89**
X.....: **553678.722 m**
Y.....: **4542508.475 m**
Altitud Ortométrica...: **1128.059 m**

SITUACIÓN

Situado en la zona central del yacimiento, al Norte de la tercera cuna vertical empezando a contar desde el Oeste.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **203**

Municipio.....: Anguita

Provincia.....: Guadalajara

Tipo señalización.....: Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel

Fecha de colocación: 29 Julio 2014

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: ETRS89

X.....: 553682.556 m

Y.....: 4542509.799 m

Altitud Ortométrica...: 1128.536 m

SITUACIÓN

Situado al Este del yacimiento, al Norte de la pared que se encuentra junto a la primera cuna vertical empezando a contar desde el Este.



OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **204**
Municipio.....: Anguita
Provincia.....: Guadalajara
Tipo señalización.....: Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel
Fecha de colocación: 29 Julio 2014

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: ETRS89
X.....: 553681.799 m
Y.....: 4542507.838 m
Altitud Ortométrica...: 1128.378 m

SITUACIÓN

Situado al Este del yacimiento, al Sur de la pared que se encuentra junto a la primera cuna vertical empezando a contar desde el Este.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **205**
 Municipio.....: Anguita
 Provincia.....: Guadalajara
 Tipo señalización.....: Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel
 Fecha de colocación: 29 Julio 2014

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: ETRS89
 X.....: 553680.807 m
 Y.....: 4542505.911 m
 Altitud Ortométrica...: 1128.536 m

SITUACIÓN

Situado al Sureste del yacimiento, en la pared de la roca curva más elevada del yacimiento.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
 Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **206**
Municipio.....: **Anguita**
Provincia.....: **Guadalajara**
Tipo señalización.....: **Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel**
Fecha de colocación: **29 Julio 2014**

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: **ETRS89**
X.....: **553677.134 m**
Y.....: **4542506.266 m**
Altitud Ortométrica...: **1128.277 m**

SITUACIÓN

Situado al Sur del yacimiento, junto a unos matojos que se encuentran delante de un grupo de encinas en el límite de la placa rocosa.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **207**

Municipio.....: Anguita

Provincia.....: Guadalajara

Tipo señalización.....: Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel

Fecha de colocación: 29 Julio 2014

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: ETRS89

X.....: 553676.132 m

Y.....: 4542509.866 m

Altitud Ortométrica...: 1127.928 m

SITUACIÓN

Situado al Oeste del yacimiento, fuera del límite de la parcela, en la divisoria de cunas verticales y cunas horizontales.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **208**
Municipio.....: **Anguita**
Provincia.....: **Guadalajara**
Tipo señalización.....: **Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel**
Fecha de colocación: **29 Julio 2014**

COORDENADAS UTM Huso 30

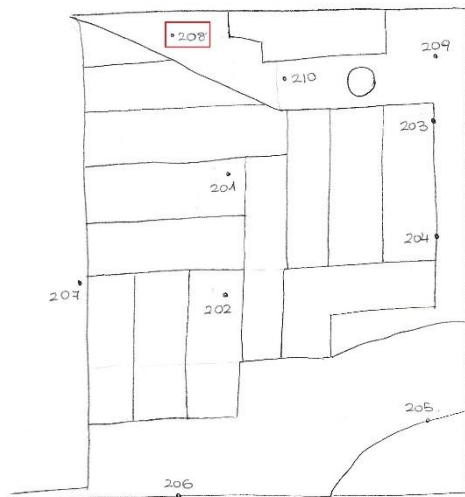
Sistema de referencia: **ETRS89**
X.....: **553678.949 m**
Y.....: **4542512.872 m**
Altitud Ortométrica...: **1128.428 m**

SITUACIÓN

Situado al Noroeste del yacimiento, junto a un corte con dirección SE-NW y junto a un canalón con forma de ángulo recto.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **209**
 Municipio.....: **Anguita**
 Provincia.....: **Guadalajara**
 Tipo señalización.....: **Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel**
 Fecha de colocación: **29 Julio 2014**

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: **ETRS89**
 X.....: **553682.984 m**
 Y.....: **4542511.228 m**
 Altitud Ortométrica...: **1128.668 m**

SITUACIÓN

Situado al Noreste del yacimiento, junto a la esquina límite de la placa rocosa.

OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
 Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



Reseña Diana de Puntería

Número.....: **210**
Municipio.....: **Anguita**
Provincia.....: **Guadalajara**
Tipo señalización.....: **Diana de 19.8x19.8 cm impresa sobre papel**
Fecha de colocación: **29 Julio 2014**

COORDENADAS UTM Huso 30

Sistema de referencia: **ETRS89**
X.....: **553680.800 m**
Y.....: **4542511.622 m**
Altitud Ortométrica...: **1128.487 m**

SITUACIÓN

Situado al Norte del yacimiento, junto a una canalización, una piedra circular y una fractura en la placa rocosa.



OBSERVACIONES

Diana observada con estación total TCR405 y TCR705
Diana medida con láser escáner RIEGL LMS-Z420i



FILTRO EJECUTADO A LA NUBE DE PUNTOS PARA EXPANDIR LA ESCALA DE GRISES

'PROCEDIMIENTO DE TRANSFORMACIÓN PROPORCIONAL DE VALORES DE INTENSIDAD DE GRIS DE ARCHIVOS DE PUNTOS ASC

Sub RealWorks()

'LEER EL ARCHIVO Y ALMACENAR SU CONTENIDO EN UNA CADENA DE TEXTO ÚNICA PARA PODER EXTRAER LA INFORMACIÓN DE ÉL

Dim nombreFichero As String = "RealWorks.txt"

Dim stream As New System.IO.StreamReader(String.Format("D:\{0}", nombreFichero))

Dim textoFichero As String = stream.ReadToEnd()
stream.Close()

'SEPARAR EL TEXTO PARA OBTENER TODOS Y CADA UNO DE LOS VALORES DE X, Y, Z E INTENSIDAD INDIVIDUALIZADAMENTE

Dim splitTexto As String() = textoFichero.Split(New [Char]() {CChar(vbCrLf), CChar(vbTab)})

'OBTENER LOS VALORES MÁXIMO Y MÍNIMOS DE INTENSIDAD ANALIZANDO TODOS Y CADA UNO DE ELLOS

Dim min As Integer = 0

Dim max As Integer = 0

For j = 3 To splitTexto.Length - 1

 If min = 0 Then

 min = CInt(splitTexto(j))

 Else

 If CInt(splitTexto(j)) < min Then

 min = CInt(splitTexto(j))

 End If

 End If

 If max = 0 Then

 max = CInt(splitTexto(j))

 Else

 If CInt(splitTexto(j)) > max Then

 max = CInt(splitTexto(j))

 End If

 End If

 j += 3

Next

'CALCULAR LA PROPORCIÓN A APLICAR A LOS VALORES DE INTENSIDAD

Dim proporcion As Double = 0

proporcion = 256 / (max - min)



```
'CONSTRUIR LA CADENA DE TEXTO COMPLETA CON LOS VALORES DE INTENSIDAD
TRANSFORMADOS
Dim texto As String = String.Empty
For j = 0 To splitTexto.Length - 1
    If j = splitTexto.Length - 4 Then
        texto = texto & splitTexto(j) & vbTab & splitTexto(j + 1) & vbTab &
splitTexto(j + 2) & vbTab & CInt(CInt(splitTexto(j + 3)) * proporcion).ToString
        Exit For
    Else
        texto = texto & splitTexto(j) & vbTab & splitTexto(j + 1) & vbTab &
splitTexto(j + 2) & vbTab & CInt(CInt(splitTexto(j + 3)) * proporcion).ToString &
vbCrLf
    End If
    j += 3
Next

'GENERAR EL ARCHIVO NUEVO QUE SE VA A IMPORTAR EN REALWORKS
Dim rutaFichero As String = "D:\RealWorks.asc"
Dim sw As New System.IO.StreamWriter(rutaFichero, False,
System.Text.Encoding.GetEncoding(1252))
    sw.WriteLine(texto)
    sw.Close()

End Sub
```

DOCUMENTACIÓN DIGITAL

- Memoria formato PDF
- Productos finales en formato PDF
 - Ortoproyección del modelo tridimensional del yacimiento
 - Plano del modelo tridimensional del yacimiento
 - Vista del modelo texturizado
 - Volumen del modelo
 - Volumen de tierra movido para la preparación del yacimiento
 - Perfil longitudinal del modelo
 - Vídeo del modelo 3D
- Anexos



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Para la realización de este proyecto se ha utilizado información proveniente de diversas fuentes, las cuales se citan a continuación:

- Fabio Romeral Pérez, 2014: “Flujo de trabajo en proyectos de modelización 3D con equipos láser escáner”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- Carlos Nuevo Raspeño, 2012: “Generación de un modelo 3D de la Puerta de Alcalá mediante tecnología láser escáner”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- Iván Aragón Galera, 2010: “Levantamiento a escala 1:200 de los yacimientos del Calvero de la Higuera en Pinilla del Valle con equipos láser escáner 3D”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- Álvaro Aarón Solera Arganda, 2012: “Obtención del modelo tridimensional de una vasija precolombina de la cultura Nazca-Perú mediante sistemas láser escáner 3D”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- David Cruz Josa, 2013: “Obtención del modelo tridimensional de la fachada del Real Observatorio Astronómico de Madrid mediante tecnología láser escáner”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- Luis Peña Serrano, 2012: “Modelización tridimensional de piezas celtibéricas como método de documentación arqueológica”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- Sergio Carazo Almazán, Enrique Pardo Sánchez, 2014: “Obtención del modelo tridimensional de la Puerta de La Latina del S. XVI D.C. mediante equipo láser escáner terrestre”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid.
- M. Farjas, A. Zazo, D. Jiménez, 2011: “Guía visual de Trimble Realworks”. Editorial LA ERGASTULA. Madrid.
- Página oficial de RIEGL, equipo LMS Z420i. Marzo 2015.
<http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/4/>
- Página oficial de RIEGL, programa Riscan Pro. Marzo 2015.
<http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/4/>
- Tutorial Riscan Pro versión 1.2.0sp1 de Riegl. Marzo 2015.
http://www.utdallas.edu/~aiken/LASERCLASS/riscan_pro.pdf
- Operating & Procesing software RISCAN PRO for RIEGL 3D Laser Scanners. Marzo 2015.
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/11_DataSheet_RiSCAN-PRO_22-09-2010_02.pdf



- Visor de Sigpac para la medición de distancias al desplazamiento y estaciones permanentes utilizadas. Enero 2015. <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>
- Red de estaciones GNSS de Castilla y León. Agosto 2014. <http://gnss.itacyl.es/>
- Red de estaciones permanentes del IGN. Agosto 2014.
<http://www.ign.es/ign/layoutIn/geodesiaEstacionesPermanentes.do>
- Situación e historia de Anguita. Julio 2014.
http://es.wikipedia.org/wiki/Anguita_%28Guadalajara%29
- Celtíberos. Historia, sociedad y necrópolis. Julio 2014.
http://es.wikipedia.org/wiki/Celt%C3%ADberos#Las_necr.C3.B3polis
- Canteros medievales, técnicas de extracción de la piedra. Julio 2014.
http://www.catedralesgoticas.es/eni_canteros.php
- Carlos Nieto Ramírez, 2011: “El mundo funerario de Celtas y Celtíberos en la península Ibérica”. Abril 2015.
<http://www.claseshistoria.com/revista/2011/articulos/nieto-mundo-funerario-celtas.pdf>
- Alberto J. Lorrio, M^a Dolores Sánchez de Prado: “La necrópolis celtibérica de Alcóbriga”. Abril 2015.
http://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/29/24/_ebook.pdf